

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Criação de uma Framework para Melhorar a Experiência de Jogo através de Biofeedback

José Pedro Pereira Amorim



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Pedro Nogueira (PhD)

23 de Julho de 2017

Criação de uma Framework para Melhorar a Experiência de Jogo através de Biofeedback

José Pedro Pereira Amorim

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Jorge Manuel Gomes Barbosa (Professor)

Arguente: Pedro Miguel do Vale Moreira (Professor Adjunto)

Orientador: Pedro Gonçalo Ferreira Alves Nogueira (PhD)

23 de Julho de 2017

Resumo

Na área da interação pessoa-máquina (IPM), tem havido recentemente, um forte interesse em novas formas de interação que complementam ou substituem a interação tradicional - o teclado e o rato. Estas novas formas de interação, como o *biofeedback* com a utilização de sinais fisiológicos, permitem aos jogadores uma experiência mais imersiva.

Embora já investigada a utilização de mecanismos de *biofeedback* no contexto de videojogos, e principalmente, os mecanismos de *biofeedback* directo onde jogadores executam acções no jogo de forma explícita, não foram estudadas as limitações que os mecanismos de *biofeedback* têm quando aplicados a videojogos já existentes.

O objetivo desta dissertação é o de estudar os efeitos dos mecanismos de *biofeedback* aplicados a videojogos comerciais pré-existent - isto é, explorar a variedade de mecanismos que podem ser usados com uma mesma *framework* e perceber como o mesmo sensor pode servir a diferentes mecânicas. Também se pretende identificar as limitações de desenho e adaptação destes às mecânicas de jogo atuais. Para tal, foi desenvolvida uma *framework* capaz de recolher e interpretar os dados provenientes de diversos sensores fisiológicos e fornecer uma interface gráfica simples para a configuração de regras de ativação de mecânicas de jogo.

A partir da integração desta *framework* no videojogo Skyrim, foi possível realizar um caso de estudo com 26 participantes, onde foram comparados dois cenários, um recorrendo à interação tradicional e outro aos mecanismos de interação fisiológica. Assim, foi possível avaliar o impacto destes mecanismos de interação através de questionários que permitiram avaliar a experiência de jogo dos participantes em ambos os cenários, consoante os graus de Divertimento, Facilidade de Uso, Originalidade, entre outras.

Os resultados da dissertação permitem concluir que a versão *biofeedback* mostrou ser mais divertida, embora as mecânicas de jogo na versão original sejam de mais fácil utilização. A maioria dos participantes deu preferência ao videojogo com *biofeedback*.

Este trabalho realça as vantagens que a aplicação de mecânicas de jogo aliadas à utilização do *biofeedback* podem trazer aos videojogos.

Abstract

In the field of Human-Computer Interaction (HCI), there has been recently a strong interest in new forms of interaction that complement or replace traditional - keyboard and mouse. These new forms of interaction, such as biofeedback with the use of physiological signals, allow players a more immersive experience.

Although already investigated the use of biofeedback mechanisms in the context of videogames, and especially the mechanisms of direct biofeedback where players perform actions in the game explicitly, it hasn't been studied the limitations that biofeedback mechanisms have when applied to already existing videogames.

The objective of this dissertation is to study the effects of biofeedback mechanisms applied to preexisting commercial videogames - that is, to explore the variety of mechanisms that can be used with the same framework and to understand how the same sensor can serve different mechanics. It is also intended to identify the design and adaptation limitations of this to current games' mechanics. To accomplish this, a framework was developed capable of collecting and interpreting data from several physiological sensors, and provide a simple graphical interface for the configuration of activation rules of the game mechanics.

Through the integration of this framework in the videogame Skyrim, it was possible to carry out a study case with 26 participants, where we compared two scenarios, one using traditional interaction and the other physiological interaction. Thus, it was possible to evaluate the impact of these mechanisms of interaction through questionnaires that allowed the evaluation of participants' experience in both scenarios, depending on the degrees of Fun, Usability, Originality, among others.

The results of the dissertation allow us to conclude that the biofeedback version proved to be more fun, although the game mechanics in the original version are more user-friendly. The majority of participants gave preference to the videogame with biofeedback.

This work highlights the advantages that the application of game mechanics allied to the use of biofeedback can bring to videogames.

Agradecimentos

A realização da dissertação, às vezes um processo solitário, conta com o apoio e contributos de várias pessoas. Sem estes contributos, este trabalho não teria se tornado realidade.

Agradeço ao meu orientador Pedro Nogueira, pelo apoio e disponibilidade que me deu durante toda a dissertação e todas opiniões e críticas que ajudaram o meu trabalho e me esclareceram em alturas de dúvidas.

Agradeço também a todas as pessoas que são importantes na minha vida e que me deram apoio durante os cinco anos do mestrado. Aos meus pais, irmãos, família e namorada por terem estado persentes na minha vida todos os dias e partilhado as minhas alegrias e tristezas. Aos meus amigos por terem tornado a minha experiência na faculdade fantástica e participado nos testes piloto antecipados.

José Amorim

"He who is not courageous enough to take risks will accomplish nothing in life."

Muhammad Ali

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Objetivos	1
1.2	Estrutura da Dissertação	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	<i>Biofeedback</i>	3
2.2	Aplicação de <i>Biofeedback</i> na medicina	4
2.3	Representação da Emoção	5
2.3.1	<i>Russell's circumplex model of affect</i>	5
2.3.2	Roda de emoções de Plutchik	6
2.4	Deteção da Emoção	6
2.4.1	Abordagem baseada em Lógica Difusa	7
2.4.2	Abordagem baseada em Regras Gerais	8
2.5	<i>Biofeedback</i> em videojogos	8
2.5.1	<i>Affective Gaming</i>	9
2.5.2	<i>Biofeedback</i> direto e <i>Biofeedback</i> indireto	9
2.5.3	<i>Biofeedback</i> implícito e <i>Biofeedback</i> explícito	9
2.6	Mecanismos de <i>biofeedback</i> em videojogos	10
2.7	Outras <i>frameworks</i> para aplicação de <i>biofeedback</i> em videojogos	14
2.8	Sensores Fisiológicos	20
2.8.1	Eletroencefalograma (EEG)	20
2.8.2	Eletromiograma (EMG)	20
2.8.3	Eletrocardiograma (ECG)	21
2.8.4	Eletro-oculograma (EOG)	22
2.8.5	Sensor de Respiração (RSP)	22
2.8.6	Sensor de Pressão Sanguínea (BVP)	23
2.8.7	Atividade Eletrodermal (EDA)	23
2.8.8	Sensor de Temperatura	24
2.9	Resumo e conclusões	25
3	Concepção da <i>framework</i>	27
3.1	NeXus-10 e BioTrace+	27
3.2	Descrição da <i>framework</i>	28
3.2.1	Extração de <i>features</i>	28
3.2.2	Sistema de regras	29
3.2.3	Configuração	30
3.2.4	Arquitetura da <i>framework</i>	31

CONTEÚDO

4	Implementação da <i>Framework</i>	33
4.1	Extração de <i>features</i>	33
4.1.1	Pré-processamento	33
4.1.2	Smoothing	34
4.1.3	Calibração	34
4.1.4	Diferenciais	34
4.1.5	AV - Excitação e Valência	35
4.1.6	Comparação das abordagens	35
4.2	Configuração	36
4.2.1	Página Inicial	36
4.2.2	Configuração de Regras	37
4.2.3	Calibração	37
4.2.4	Utilização	38
4.2.5	Fluxo de Utilização	39
4.3	Mecânicas de Jogo	39
4.3.1	Ataque de Espada	40
4.3.2	Ataque Mágico e Cura	41
4.3.3	Sprint	41
4.3.4	Sneak	42
4.3.5	Fortificação e Recuperação	43
4.4	Configuração final	44
4.5	Comunicação entre Skyrim e <i>framework</i>	45
4.5.1	Comunicação bidirecional	45
5	Caso de Estudo e Análise de Dados	47
5.1	Skyrim: Caso de Estudo	47
5.1.1	Protocolo Experimental	47
5.1.2	Ambiente de teste	48
5.1.3	Dados demográficos dos participantes	48
5.2	Análise de Resultados	49
5.2.1	Questionário 1: Experiência de Jogo	50
5.2.2	Questionário 2: Mecânicas de Jogo	52
5.2.3	Questionário 3: IMI	55
6	Discussão	59
6.1	Imersão	59
6.2	Nível de Divertimento	60
6.3	Limitações	61
7	Conclusões e Trabalho Futuro	63
7.1	Trabalho Futuro	63
7.2	Conclusões	64
	Referências	65
A	Exemplo de Ficheiro XML de Configuração do Sistema de Regras	69
B	Papyrus Scripts	71

Lista de Figuras

2.1	Russell's circumplex model of affect	5
2.2	Roda de emoções de Plutchik	6
2.3	Dekker e Champion (2007) Ambiente a preto e branco devido ao estado calmo do jogador	11
2.4	Reynolds (2012) Exemplo de estática	12
2.5	Torres (2013) Geração do <i>layout</i> no jogo Vanish	13
2.6	Silva (2014) Modo de invisibilidade no jogo GenericShooter 3000	14
2.7	Nogueira et al. (2013) Arquitetura do Emotion Engine	15
2.8	Nogueira et al. (2013) Arquitetura do sistema PIERS	16
2.9	O videojogo Vanish	16
2.10	Rego (2014) Arquitetura do sistema	17
2.11	Rego (2014) <i>Dark Souls</i>	18
2.12	Seixas (2016) Arquitetura do sistema de regras	18
2.13	Seixas (2016) <i>Survival Shooter</i>	19
2.14	Eletroencefalograma (EEG)	20
2.15	Eletromiograma (EMG)	21
2.16	Eletrocardiograma (ECG)	21
2.17	Eletro-oculograma (EOG)	22
2.18	Sensor de Respiração (RSP)	22
2.19	Sensor de Pressão Sanguínea (BVP)	23
2.20	Sensor de Atividade Eletrodermal (EDA)	24
2.21	Sensor de Temperatura	24
3.1	Extração de <i>features</i>	28
3.2	Representação de uma regra	29
3.3	Sistema de regras com eventos do videojogo	30
3.4	Sistema de regras sem eventos do videojogo	30
3.5	Arquitetura da <i>framework</i>	31
4.1	Fluxo de Extração de <i>features</i>	33
4.2	Resultado da aplicação de SMA no sinal EMG	34
4.3	Página Inicial da <i>framework</i>	36
4.4	Página de Configuração de Regras da <i>framework</i>	37
4.5	Página de Calibração da <i>framework</i>	38
4.6	Página de Utilização da <i>framework</i>	39
4.7	Fluxo de utilização da <i>framework</i>	39
4.8	Ataque de Espada acionado pela contração do braço direito	40
4.9	Ataque Mágico direcionado para um líquido inflamável	41

LISTA DE FIGURAS

4.10	Feitiço de cura utilizado em conjunto com o ataque de espada	41
4.11	Utilização de Sprint para passar por guilhotinas	42
4.12	Utilização do Sneak para passar sem ser detectado, ou atacar provocando mais dano a inimigos adormecidos	42
4.13	Confronto com aranha gigante causa jogador a ficar mais ansioso ativando a Fortificação	43
5.1	Situação Vanilla-Biofeedback	47
5.2	Situação Biofeedback-Vanilla	47
5.3	Distribuição de idades dos participantes	49
5.4	Número de horas médio que os participantes jogam videojogos por semana	49
5.5	Nível de experiência dos participantes com o videojogo Skyrim	50
5.6	Média de divertimento e jogabilidade entre condições e correspondente Erro Padrão	51
5.7	Preferência de condição de jogo	51
5.8	Média de divertimento das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão	53
5.9	Média de facilidade de uso das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão	54
5.10	Média de originalidade das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão	56
5.11	Média de divertimento das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão	57

Lista de Tabelas

2.1	Silva (2014) Diferentes maneiras de activação das mecânicas de jogo	15
2.2	Rego (2014) Exemplo de regra de activação	17
4.1	Mecânicas de jogo	44
4.2	Configuração final do sistema de regras	44
5.1	Questionário 1 - Média e desvio padrão	50
5.2	Questionário 1 - Análise teste t	51
5.3	Questionário 2 Divertimento - Média e desvio padrão	52
5.4	Questionário 2 Divertimento - Análise teste t	53
5.5	Questionário 2 Facilidade de Uso - Média e desvio padrão	53
5.6	Questionário 2 Facilidade de Uso - Análise teste t	54
5.7	Questionário 2 Originalidade - Média e desvio padrão	55
5.8	Questionário 2 Originalidade - Análise teste t	55
5.9	Questionário 3 - Média e desvio padrão	56
5.10	Questionário 3 - Análise teste t	57

LISTA DE TABELAS

Abreviaturas e Símbolos

AV	Espaço de Excitação e Valência
BVP	Sensor de Pressão Sanguínea
ECG	Eletrocardiografia
EDA	Sensor de Atividade Eletrodermal
EEG	Eletroencefalografia
EMG	Eletromiografia
EOG	Eletro-oculografia
fEMG	Eletromiografia facial
GSR	Resposta Galvânica da pele
GUI	Interface gráfica do utilizador
HR	Ritmo Cardíaco
HRV	Variabilidade do Ritmo Cardíaco
IPM	Interação pessoa-máquina
PPG	Fotopletismografia
RSP	Sensor de Respiração
SC	Condutividade da pele
TEMP	Sensor de Temperatura
XML	eXtensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

Os videojogos têm sofrido inúmeras evoluções desde a sua conceptualização nos anos 40 até a atualidade, estas evoluções devem-se aos avanços computacionais e audiovisuais. Este progresso permitiu um aumento do realismo gráfico, ou seja, o mundo dos videojogos está cada vez mais próximo do mundo real, a experiência de jogo é por isso cada vez mais imersiva.

Surge, nos últimos anos uma tendência divergente focada na procura de novas formas de interação, como por exemplo os videojogos com interação natural (e.g. Microsoft Kinect, Wii Remote). Estas formas de interação substituem por completo os controladores tradicionais - teclado, rato e controlador - na busca de uma interação mais intuitiva, no entanto, perdem alguma eficácia característica dos controladores tradicionais.

Outra forma de interação pode ser obtida através do *biofeedback* que permite a utilização de dados fisiológicos do jogador - o ritmo cardíaco, a temperatura corporal e a actividade muscular - como forma de controlar as mecânicas do jogo.

As formas de interação existentes nos videojogos atuais restringem-se à manipulação direta e consciente do jogo por parte do jogador, já os videojogos com utilização de *biofeedback* permitem uma nova forma de interação. O *biofeedback* tira proveito da detecção de respostas fisiológicas, (como o aumento de suor, a variação do ritmo cardíaco ou as expressões faciais) produzidas de forma inconsciente, para alterar variáveis no ambiente do jogo.

Estas respostas fisiológicas podem ser utilizadas para inferir o estado emocional atual do jogador, permitindo assim a adaptação do videojogo de forma a tornar a experiência mais intensa, por exemplo mais assustadora ou mais relaxante.

1.1 Motivação e Objetivos

A redução de custos de sensores fisiológicos aliada ao surgimento de dispositivos largamente distribuídos, Apple Watch, Smart Watches - com monitores de ritmo cardíaco de elevada precisão, tornaram o uso destes sensores em videojogos mais acessível para o jogador normal.

Embora o impacto de mecanismos de *biofeedback* em videojogos já tenha sido abordado, existe uma falta de investigação na comparação do impacto de diversos mecanismos de *biofeedback* em videojogos comerciais.

Os objetivos principais deste trabalho são, portanto, os seguintes:

- Estudar os efeitos dos mecanismos fisiológicos na experiência do utilizador quando aplicados a videojogos comerciais existentes;
- Identificar quais são as limitações de desenho e adaptação dos mecanismos fisiológicos a mecânicas de videojogos comerciais existentes.

1.2 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em sete capítulos. No Capítulo 1 é introduzido o contexto desta dissertação, a sua motivação e os objetivos a cumprir.

No Capítulo 2, focamo-nos na revisão do estado da arte sendo apresentados conceitos importantes neste tema e apresentado soluções a problemas semelhantes que podem ser usados como fonte de inspiração para a concepção da nossa solução. Diferentes formas de uso de *biofeedback* e sensores fisiológicos também serão explorados neste capítulo.

No Capítulo 3, é feita a concepção de uma *framework* capaz de captar sinais provenientes de diversos sensores, extrair *features* como o nível de excitação do jogador, e utilizá-los para manipular videojogos comerciais. A versão final desta *framework* é apresentada no Capítulo 4, juntamente com o seu fluxo normal de utilização e as mecânicas de jogo implementadas no videojogo Skyrim ¹.

No Capítulo 5 descrevemos um caso de estudo realizado com 26 participantes onde a *framework* é testada no videojogo Skyrim, comparando duas condições de jogo (uma condição recorrendo apenas a um controlador, e outra condição recorrendo a sensores fisiológicos). Analisamos também as respostas dos participantes a questionários onde as condições e mecânicas de jogo são avaliadas segundo critérios como divertimento e facilidade de uso.

No Capítulo 6 refletimos sobre os resultados do estudo e sobre o trabalho feito. Enumeramos também as limitações da *framework* e do estudo.

Finalmente, no Capítulo 7 serão expostas as conclusões do trabalho realizado e apresentado oportunidades de trabalho futuro, tanto segundo melhorias da ferramenta, como futuras investigações.

¹ The Elder Scrolls V: Skyrim é um videojogo do tipo RPG desenvolvido pela Bethesda Games Studios onde o jogador deve explorar um mundo aberto e derrotar Alduin, um deus em forma de dragão, de forma a impedir a destruição de Skyrim. Fonte: <https://elderscrolls.bethesda.net/en/skyrim>

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Neste capítulo irá ser introduzido o conceito de *biofeedback*, nomeadamente, a sua definição formal, as diferentes formas de o classificar e a sua utilização ao longo das últimas décadas tanto na área da medicina como na área dos videojogos.

Iremos discutir como a emoção humana pode ser representada - comparando dois modelos de representação - e como pode ser detetada - revendo estudos feitos na área de *Affective Gaming*.

De forma a escolher quais os mecanismos se adequam a este trabalho, serão revistas diversas mecânicas de jogo e o impacto delas na experiência dos jogadores nos respetivos estudos.

É também feita uma revisão das *frameworks* desenvolvidas e que permitem a integração de mecanismos de *biofeedback* com videojogos, e estudadas as vantagens e limitações das abordagens tomadas.

Finalmente, faremos um levantamento dos diversos sensores fisiológicos disponíveis para o uso de *biofeedback* em videojogos, o tipo de *biofeedback* que suportam, e que tipo de dados podem ser extraídos deles.

A partir das informações retiradas por esta revisão bibliográfica torna-se possível escolher quais os mecanismos de interação fisiológico que devem ser o foco desta dissertação, e os sensores fisiológicos que podem ser utilizados para esse fim.

2.1 *Biofeedback*

Biofeedback é um conceito que surgiu no final da década de 60, mais precisamente em 1969, numa reunião organizada por Barbara Brown, investigadora na área da Electroencefalografia (EEG), unificando áreas como a psicologia, a neurologia, a medicina e a cibernética [Mos].

Mais tarde, Barbara Brown cria uma sociedade de investigação em métodos de *biofeedback*, a Biofeedback Research Society (BRS)¹ [Mos]. Já em 1974 o conceito tinha ganho popularidade com a publicação de vários livros, como o de Barbara Brown "New Mind, New Body"[Bro74].

¹ Em 1989 passou a se chamar de Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback (AAPB)[PS10]

Em 2007 a AAPB, a Biofeedback Certification International Alliance (BCIA) e a International Society for Neurofeedback and Research (ISNR) formam em conjunto um Comité que trabalharia para construir uma definição padrão:

“Biofeedback is a process that enables an individual to learn how to change physiological activity for the purposes of improving health and performance. Precise instruments measure physiological activity such as brainwaves, heart function, breathing, muscle activity, and skin temperature. These instruments rapidly and accurately "feed back" information to the user. The presentation of this information — often in conjunction with changes in thinking, emotions, and behavior — supports desired physiological changes. Over time, these changes can endure without continued use of an instrument.” [AAP]

2.2 Aplicação de *Biofeedback* na medicina

Inicialmente o *biofeedback* foi desenhado para ajudar na terapia medicinal de doenças. Em 2001, a AAPB e a ISNR estabeleceram critérios para cinco níveis de evidência de eficácia de protocolos de tratamento, desde tratamentos não apoiados empiricamente, até tratamentos eficazes. Utilizando esta classificação, em 2008, Yucha et al [YM08] classificaram evidências de eficácia de *biofeedback* no tratamento de várias doenças, como a incontinência urinária, a ansiedade e a epilepsia.

De acordo com Frank et al. [FKK⁺10] na terapia com *biofeedback* o paciente está envolvido não num processo de tratamento mas sim de treino, tendo ele um papel ativo na aprendizagem de uma técnica em oposto com passivamente receber tratamento. Normalmente o paciente não percebe os seus sinais fisiológicos como o ritmo cardíaco e ritmo respiratório, e o *biofeedback*, ao apresentar os dados a tempo real, possibilita ao paciente controlar os seus processos fisiológicos [FKK⁺10].

Devido à fácil integração do *biofeedback* em videojogos, vários *serious games*² foram desenvolvidos para ajudar no tratamento de problemas de saúde. Por exemplo, foi utilizado videojogos integrados com eletromiogramas para o tratamento de incontinência urinária em crianças, ajudando crianças a treinar os músculos pélvicos [MHCF99]. De forma semelhante, o eletromiograma foi também utilizado por Bryant et al. [Bry91] para o tratamento de disfunção da deglutição.

Nos estudos anteriores foi utilizado *biofeedback* direto no desenho dos *serious games*, mas também foram feitos inúmeros estudos de tratamentos utilizando *biofeedback* indireto. Por exemplo, um estudo estudou os efeitos de um videojogo com o objetivo de ensinar os pacientes a relaxarem usando sensores de atividade eletrodermal (EDA), no tratamento do Síndrome do intestino irritável (IBS) [LCM⁺98]. Com o mesmo intuito de ensinar a relaxar e usando o ritmo cardíaco (HR) e a condutividade da pele (SC), foi desenvolvido um videojogo para o tratamento de Tratamento de Transtorno de ansiedade generalizada (GAD), caracterizado por uma preocupação

² Videojogos interativos desenvolvidos com o objetivo de educar ou treinar.

excessiva e incontralável e frequentemente irracional. Uma versão móvel e sem fios (*bluetooth*) também foi desenvolvida.

Um jogo para gestão de medo (Nevermind) foi também desenvolvido e nos últimos anos tem sido comercialmente bem sucedido [Mol].

Para tirar partido das virtudes dos videojogos, foram introduzidas componentes de competição e cooperação num videojogo de relaxamento (Brainball [HB00]), que segue o objetivo de relaxar para vencer. Neste jogo dois jogadores podem competir entre si, sendo que o jogador mais relaxado vence. Embora tenham introduzido dois conceitos aparentemente paradoxais - relaxamento e competição - os resultados demonstram que os jogadores conseguem eficazmente relaxarem e disfrutar do jogo.

2.3 Representação da Emoção

Grande parte dos mecanismos de *biofeedback* que vão ser descritos neste capítulo requerem a deteção das emoções do jogador, sendo necessário representá-las através de um modelo.

2.3.1 Russell's circumplex model of affect

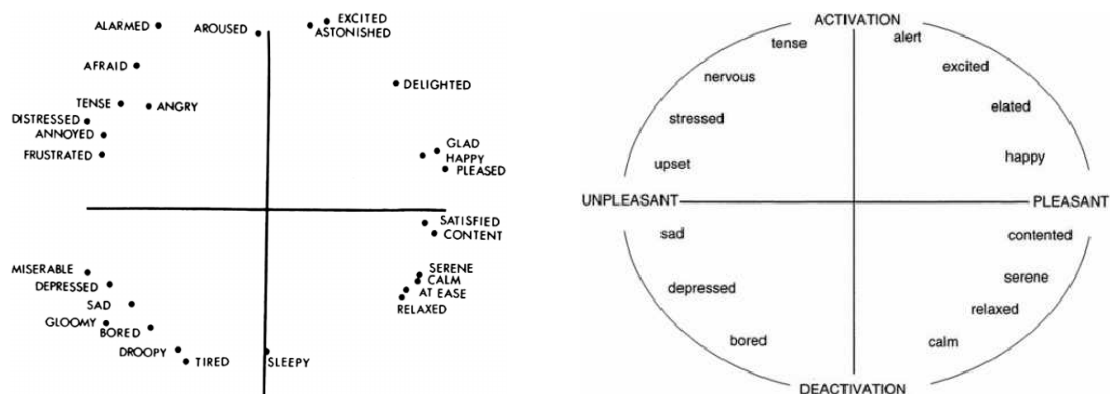


Figura 2.1: Russell's circumplex model of affect

Uma maneira de as representar foi proposta por James Russell em 1980, denominada de *Circumplex model of affect* (Figura 2.1). Neste modelo, o estado afetivo do indivíduo é uma combinação linear entre duas dimensões, a excitação e a valência [Rus80]. A excitação expressa o nível de alerta e resposta a estímulos, enquanto que a valência expressa se o sentimento é agradável ou desagradável.

Em 2005, Russell et al. [PRP05] propuseram um novo modelo onde o eixo vertical que representa a dimensão de excitação passa a ser denominado de ativação, e o eixo da valência passa a ser chamado de agradável e desagradável. No entanto as mudanças foram puramente estéticas, tendo sido excluídas algumas emoções de forma a simplificar o modelo.

2.3.2 Roda de emoções de Plutchik

Plutchik [Plu01] definiu também um modelo de afeto, onde o conceito de emoção difere do de Russell. Este modelo, ao contrário do de Russell, é tridimensional. É possível, no entanto, representá-lo em duas dimensões, como pode ser visto na Figura 2.2.

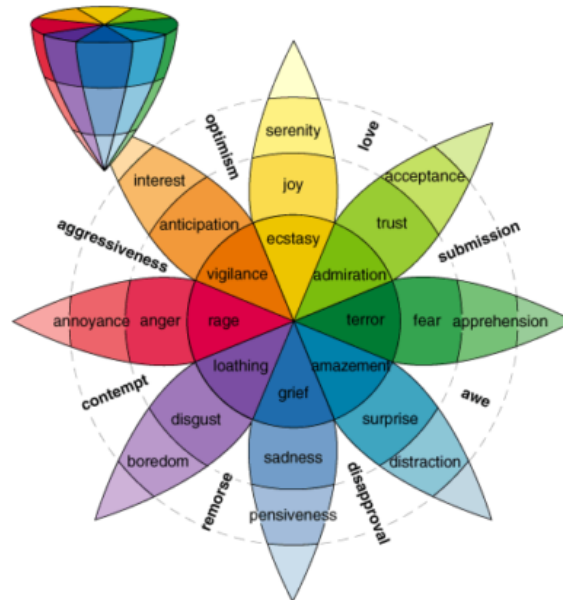


Figura 2.2: Roda de emoções de Plutchik³

Plutchik assume a existência de oito emoções básicas e representa-as numa roda colorida ao centro (correspondente à base do cone). A dimensão vertical do cone representa a intensidade e o círculo o grau de similaridade entre emoções.

Na representação bidimensional, as emoções nos espaços em branco são, de acordo com o autor, chamadas de díades primárias e são obtidas a partir da combinação de duas emoções primárias. Todas as outras emoções podem ser obtidas a partir da alteração de intensidade das emoções primárias.

2.4 Detecção da Emoção

A detecção de emoções através de dados fisiológicos tem sido objeto de inúmeros estudos, alguns dos quais serão discutidos nesta subseção. Estes estudos evidenciam a possibilidade de obter valores precisos na detecção de emoções usando as dimensões de excitação e valência definidas por Russell.

Em 2007, Leon et al. [LCCS07] alcançaram uma precisão de 71%, tentando classificar três níveis de valência⁴, aplicando uma rede neuronal. Para tal usaram o ritmo cardíaco (HR), condutividade da pele (SC), pressão sanguínea (BVP) e dois parâmetros estimados - o gradiente da

⁴ Positivo, negativo e neutro

condutividade da pele e a velocidade de mudança dos dados.

Também utilizando uma rede neuronal, Haag et al. [HGSW04], usando dados provenientes dos sensores EMG, SC, TEMP, BVP, ECG e RESP, obtendo uma precisão de 63% no cálculo da valência e 89% no cálculo da excitação (com 10% de margem de erro).

Mais recentemente, Nogueira et al. [NRON14] propuseram um classificador para a detecção dos níveis de excitação e valência, baseado em sinais SC, HR e fEMG⁵. Os autores reportaram uma precisão de 85% no cálculo da valência e 78% no cálculo da excitação.

Sendo o modelo de Russell o mais comum na área de *Affective Computing* e devido à bem sucedida detecção do estado emotivo demonstrada pelos estudos anteriores, este será o modelo utilizado no trabalho.

Apesar do sucesso dos modelos referidos anteriormente na detecção de emoção do jogador, outras abordagens com menor custo computacional e de mais fácil implementação foram publicadas, e devido a sua revelância para o nosso trabalho serão descritos com mais detalhe.

2.4.1 Abordagem baseada em Lógica Difusa

Esta abordagem, apresentada por Mandryk e Atkins [MAI06] consiste na aplicação sequencial de dois modelos de lógica difusa.

Devido à imprecisão que os dados de entrada e de saída podem apresentar - na lógica difusa - estes são definidos através de conjuntos difusos onde os elementos têm graus diferentes de pertinência (e.g. baixo, médio, alto), assim como diferem em termos linguísticos (e.g. quente e frio).

O primeiro modelo transforma os valores normalizados de SC, HR, EMGzyg e EMGcorr em valores no espaço AV, que por sua vez são transformados pelo segundo modelo em cinco estados emocionais relevantes para os videojogos - aborrecimento, desafio, entusiasmo, frustração e diversão.

Os valores de excitação e valência tomam seis níveis possíveis (muito baixo, baixo, médio-baixo, médio-alto, alto e muito alto), enquanto que os valores dos cinco estados emocionais traduzem-se em quatro níveis possíveis (muito baixo, baixo, médio e alto).

Os modelos foram gerados a partir dos dados fisiológicos provenientes de 6 participantes e foram validados através da comparação das respostas subjetivas de outros 6 participantes. Usando esta abordagem, foi feito um estudo com 24 participantes onde o estado afetivo dos participantes durante a experiência foi analisado de modo a efectuar uma comparação com base em três condições: jogo com computador, jogo com um amigo e jogo com um desconhecido.

Para a criação das funções de pertinência e regras utilizadas para a transformação dos valores de excitação e valência em emoções, os autores basearam-se no modelo de Russell (Secção 2.3.1) e no seu próprio senso comum.

⁵ Foram colocados sensores EMG no músculo corrugador do supercílio (testa) e o músculo zigomático maior (bochecha) para o cálculo da valência

Segundo os autores, a excitação está positivamente correlacionada com os valores de GSR e HR, enquanto que a valência está negativamente correlacionada com o valor de EMGzyg e positivamente correlacionada com os valores de EMGcorr e HR.

Como pode ser visto no modelo de Russell e nas regras do modelo de lógica difusa proposto por Mandryk e Atkins [MAI06], o aborrecimento está associado com a baixa excitação e valência; o desafio com a alta excitação; o entusiasmo com a alta excitação e valência; a frustração com a alta excitação e a baixa valência e a diversão com a alta valência.

2.4.2 Abordagem baseada em Regras Gerais

Se analisarmos a literatura, podemos encontrar algumas regras gerais que poderão auxiliar no cálculo da excitação e valência. Em regra, a excitação é calculada a partir da SC, sendo o HR utilizado como alternativa quando a SC está em falta. Da mesma maneira, a valência é calculada a partir do EMGfacial, sendo o HR novamente utilizado como alternativa. Mas, segundo Nogueira [Nog15], embora esta regra geral esteja em concordância com os resultados de outros modelos de regressão que criou e que demonstram uma maior precisão de SC e EMGfacial na predição de excitação e valência, não está provado que SC e EMGfacial superam o HR em todas as ocasiões.

Por este motivo foi criada uma abordagem baseada nestas regras gerais e em valores observados noutros estudos. Os erros associados ao HR quando este é utilizado no cálculo de excitação são menores quando a excitação é alta. Por sua vez, o HR só deve ser utilizado quando o seu valor não se distancia significativamente do SC.

O HR é mais reativo que a SC, considerando-se melhor na detecção de diferenças subtis de excitação.

A participação do HR no cálculo da valência deve aumentar quando a ação de EMGfacial é baixa.

O algoritmo foi então comparado com outros modelos de regressão [NRON13][NARO14] e o algoritmo de abordagem manual [Nog15] baseada apenas nas regras gerais em *Affective Computing*. Nesta abordagem os pesos das contribuições da SC e do HR no cálculo da excitação e de EMGzyg e EMGcorr no cálculo da valência são iguais.

Análises nos erros de precisão mostraram que a nova abordagem melhorou a precisão no cálculo da excitação em 12% e marginalmente no cálculo da valência, quando comparado com a abordagem manual.

2.5 Biofeedback em videojogos

A grande capacidade de imersão dos videojogos torna-os um bom candidato para a aplicação de *biofeedback*, alargando o uso deste para além da terapia medicinal, constituindo um tópico ativo na área de Interação pessoa-máquina (IPM).

2.5.1 *Affective Gaming*

Se o videojogo se adaptar ao modelo afetivo extraído dos dados fisiológicos do jogador, uma nova forma de jogo pode surgir, apresentada por Gilleade et al. [GDA05] como *Affective Gaming*. Este processo de melhorar o jogo é feito ao mudar o foco de jogos estáticos com conteúdos fixos para sistemas mais dinâmicos [Agu14].

No entanto utilizar informação biológica num jogo, não o faz ser afetivo [GDA05], necessitando de propagar *feedback* afetivo. Segundo Bersak et al. [BMA⁺01], no *feedback* afetivo o jogador não só é afetado pelo *feedback* do seu estado fisiológico mas também pela maneira que ele é apresentado.

Gilleade et al. [GDA05] propuseram um conjunto de heurísticas de alto nível para jogos afetivos: "assist me", "challenge me", "emote me"(ACE). Na primeira heurística, "assist me", o videojogo deteta a frustração do jogador e, em combinação com o contexto do jogo, identifica a causa da frustração, ajustando o jogo adequadamente. Na segunda heurística, "challenge me", é detetado o nível de aborrecimento do jogador, de forma a garantir uma dificuldade e perigo adequado para cada jogador. Na terceira heurística, "emote me", o videojogo mede o estado emocional do jogador e altera o conteúdo do jogo de forma a provocar emoção ao jogador.

De acordo com Gilleade et al. [GDA05], o efeito do ciclo *feedback* afetivo perde-se quando o jogador se torna consciente da maneira como o ciclo *feedback* é controlado com o seu estado fisiológico e o consegue controlar conscientemente.

2.5.2 *Biofeedback* direto e *Biofeedback* indireto

Nacke et al. [NKLM11] propuseram uma classificação de sensores fisiológicos, dividindo os tipos de *biofeedback* (a partir do modo como este é utilizado para manipular o jogo) em *biofeedback* direto e *biofeedback* indireto.

No *biofeedback* direto o jogador altera intencionalmente o seu estado de forma a conseguir manipular o jogo. Um exemplo de *biofeedback* direto é a utilização de um electromiograma (EMG) para detetar a contração de um músculo da perna e fazer o *avatar* saltar. No *biofeedback* indireto o jogador não consegue, de forma intencional e fácil, alterar o seu estado de forma a manipular o jogo. É exemplo de *biofeedback* indireto a utilização de um eletrocardiograma (ECG) para detetar o ritmo cardíaco de um jogador de forma a alterar aspetos visuais do ambiente.

A partir de um jogo 2D scroller com entrada fisiológica direta (EMG para detetar o nível de contração muscular, RSP os padrões de respiração e TEMP os sopros de ar quente) e entrada fisiológica indireta (HR e EDA para detetar o nível de excitação), Nacke et al. [NKLM11] puderam concluir que os jogadores preferem o uso de *biofeedback* direto, sendo que o *biofeedback* indireto deve ser utilizado para alterar variáveis relacionadas com o ambiente.

2.5.3 *Biofeedback* implícito e *Biofeedback* explícito

De acordo com Kuikkanieimi et al. [KLT⁺10], o *biofeedback* pode ser dividido em dois tipos: *biofeedback* implícito e *biofeedback* explícito. Esta divisão é feita segundo a percepção que o uti-

lizador tem da existência ou não de *biofeedback* e dos efeitos que este provoca. Existe *biofeedback* implícito quando o sistema modela o seu comportamento de acordo com os sinais fisiológicos do utilizador, que não está consciente da existência do *feedback*. No caso do *biofeedback* explícito, este existe quando é perceptível ao utilizador, permitindo-lhe alterar o seu estado.

Existem muitos casos de uso de *biofeedback* explícito na medicina. *Biofeedback* utilizando EEG já foi aplicado em tratamentos de neuroses, distúrbios de pânico e distúrbios de atenção (ADHD e ADD).

Uma das possíveis aplicações de *biofeedback* explícito é como forma de treinar, por exemplo, a se acalmar. Hjel et al. [HB00] utilizaram ondas cerebrais beta e alfa detetadas por um eletroencefalograma (EEG) num jogo em que os jogadores controlam uma bola através do seu estado de relaxamento. Os resultados do estudo mostraram que o jogo era, de facto, uma forma eficaz dos utilizadores treinarem formas de relaxamento.

Existe uma correlação entre o *biofeedback* implícito e o *feedback* afetivo, sendo que, de acordo com Gilleade et al. [GDA05], o efeito do ciclo *feedback* afetivo perde-se quando o jogador se torna consciente da maneira como este *feedback* é controlado com o seu estado fisiológico e o controla conscientemente.

Na comparação que Kuikkaneimi et al. [KLT⁺10], fizeram entre os dois tipos de *biofeedback*, duas fases de um jogo de tiros foram desenhadas. Na primeira fase os jogadores não foram informados da presença dos mecanismos de *biofeedback*, constituindo por isso a fase de *biofeedback* implícito. Na segunda fase, a de *biofeedback* explícito, os jogadores foram informados de que a respiração e o nível de excitação modulavam mecânicas de jogo. Concluiu-se que o *biofeedback* implícito não demonstra melhorias significativas na experiência do jogador, enquanto que o *biofeedback* explícito sim [KLT⁺10].

2.6 Mecanismos de *biofeedback* em videojogos

Diferentes formas de utilização de *biofeedback* foram estudadas durante as últimas duas décadas, sendo desenvolvidas diferentes mecânicas de jogo capazes de utilizar *biofeedback* direto e indireto para melhorar a experiência de jogo.

Um dos exemplos de utilização de *biofeedback* indireto em videojogos foi realizada por Dekker e Champion [DC07], onde o ritmo cardíaco (HR) e a condutividade da pele (SC) serviram para modificar de forma dinâmica diversos aspetos do videojogo "Half-Life 2"⁶. As mecânicas incorporadas no videojogo alteram três partes distintas do jogo: o desempenho do *avatar*, os aspectos estéticos e o comportamento dos inimigos.

O ritmo cardíaco foi usado para modular a velocidade de movimento do *avatar*, assim como o dano da sua arma. Foi implementado um modo *stealth* dando a possibilidade ao jogador de ver através das paredes e de ficar invisível para os inimigos. De modo a que o jogador não se aborreça, um novo inimigo é criado sempre que o ritmo cardíaco do jogador se torna demasiado baixo.

⁶ Half-Life 2 (2004) é um jogo de tiros na primeira pessoa (FPS) desenvolvida pela Valve



Figura 2.3: Dekker e Champion (2007) Ambiente a preto e branco devido ao estado calmo do jogador

Dependendo do nível de excitação do jogador, diferentes *shaders*⁷ foram aplicados. Quando este se apresentava ansioso, um filtro vermelho era aplicado, mudando de intensidade até o ecrã desaparecer por completo (simulando um estado *berserk*). No extremo oposto, quando o jogador se apresentava calmo, era aplicado um filtro branco, podendo o ambiente ser apresentado a preto e branco como é possível ver na Figura 2.3. Outros efeitos visuais não foram apreciados pelos participantes, como é o caso da agitação do ecrã quando o nível cardíaco era alto.

Para além de efeito visuais, também alguns aspectos sonoros foram explorados, entre eles a geração de um barulho aleatório quando o jogador se apresentava demasiado calmo, assim como a reprodução do seu ritmo cardíaco, ajudando ao jogadores a se envolverem mais no jogo.

Foram feitas duas fases de jogo no estudo, não tendo os participantes sido esclarecidos de qual usava *biofeedback*. Nesta forma de utilizar *biofeedback* implícito apenas metade dos jogadores corretamente identificaram as fases, demonstrando que o impacto na experiência do jogador neste caso não tenha sido muito alta.

Inúmeras experiências foram feitas por Mike Ambinder e pela empresa Valve em jogos como "Left 4 Dead 2", "Alien Swarm" e "Portal 2", explorando mecânicas de *biofeedback* direto, mas sobretudo de *biofeedback* indireto [Amb11].

No jogo "Left 4 Dead 2"⁸ foi utilizado *biofeedback* indireto a partir do nível de excitação do jogador inferido da condutividade da pele (SC), para determinar a colocação de objetos de cura e armas, assim como aparecimentos de *bosses* e inimigos. Estas decisões são tomadas de forma a criar picos de excitação durante o jogo, ao diminuir a dificuldade quando o jogador se encontra em elevado stress e aumentando a dificuldade quando está calmo. A partir deste estudo pode-se concluir que a medição dos níveis de excitação ajudam na criação de maior divertimento.

⁷ *Shader* é um programa de computador que processa os gráficos antes de serem apresentados no ecrã, permitindo a produção de variados efeitos especiais. Neste caso específico, foi utilizado um pixel *shader* para alteração da sua cor

⁸ Left 4 Dead 2 (2009) é um jogo de terror desenvolvido pela Valve

Na segunda experiência foi explorado através do jogo "Alien Swarm"⁹ uma abordagem direta utilizando o nível de excitação inferido a partir da condutividade da pele (SC). A dificuldade do jogo era controlada por um relógio que quando o jogador se encontrava excitado acelerava, e só voltava ao normal quando o jogador se acalmava. Esta abordagem criava um ciclo de *feedback* positivo, ou seja, o aumento da excitação do jogador conduzia por sua vez a um aumento da excitação.

Ambinder explorou também a utilização de *eye tracking* como entrada direta no jogo "Portal 2"¹⁰, permitindo que a câmara e a direção da arma do *avatar* se tornassem independentes entre si (similarmente à vida real), que o autor conclui ser uma melhoria. Os jogadores usavam as mãos para controlar o movimento do *avatar* e os olhos para apontar a arma. O autor concluiu, a partir da experiência, que os olhos eram uma forma de apontar viável.

Inicialmente a tese de doutoramento de Reynolds (2012), Nevermind¹¹ utiliza o ritmo cardíaco (HR) para detectar o nível de stress e medo do jogador, sendo que na versão mais recente as expressões faciais detetadas por uma *webcam* também são utilizadas.

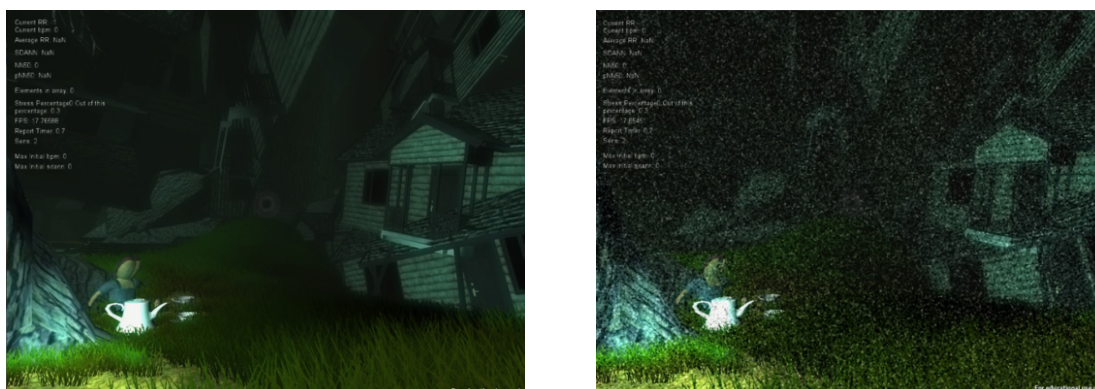


Figura 2.4: Reynolds (2012) Exemplo de estática

O jogo modifica-se dinamicamente para manter o nível de excitação do jogador alto. Estas mudanças apresentam ao jogador uma série de situações desagradáveis, e a perseverança do jogador é recompensada com progressões na narrativa e no jogo [Rey12]. Diversos efeitos visuais são influenciados pelo nível de stress do jogador. À medida que o ritmo cardíaco aumenta, efeitos como névoa e estática (Figura 2.4) tornam difícil a progressão no jogo.

Kuikkaniemi et al. (2010) criaram um jogo de tiros em primeira pessoa (FPS) para estudar como o *biofeedback* implícito e explícito funcionam em videojogos. A partir dos valores de atividade eletrodermal (EDA) e da respiração (RSP) do jogador, os autores desenvolveram diversas mecânicas de jogo: agitar do ecrã, coice de arma, alteração do ritmo de disparo e alteração da velocidade de movimento.

⁹ Alien Swarm (2010) é um jogo de tiros na primeira pessoa (FPS) desenvolvida pela Valve

¹⁰ Portal 2 (2011) é um jogo de ação e puzzle desenvolvida pela Valve

¹¹ Nevermind é um jogo de aventura que ajuda os jogadores a confrontarem situações de stress, de modo a aprenderem a reagir a essas situações da melhor forma, dentro e fora do jogo.

Embora inicialmente fosse utilizado *biofeedback* implícito e indireto, os jogadores rapidamente se aperceberam da função da sua respiração no jogo e do seu nível de excitação, tendo o *biofeedback* passado a ser direto.

Uma mecânica diferente das referidas até agora foi desenvolvida por Torres (2013)[Tor13], explorando o uso do estado afetivo do jogador para alterar a geração do *layout* do jogo Vanish (Figura 2.5).

Neste jogo de terror, o jogador deve percorrer um labirinto e encontrar duas chaves de modo a fugir, enquanto é perseguido por um monstro. É usada a valência do jogador para modular a probabilidade de encontrar um quarto com uma chave - quanto mais baixa a valência, maior a probabilidade - assim como encontrar um quarto onde o jogador poderá se esconder.

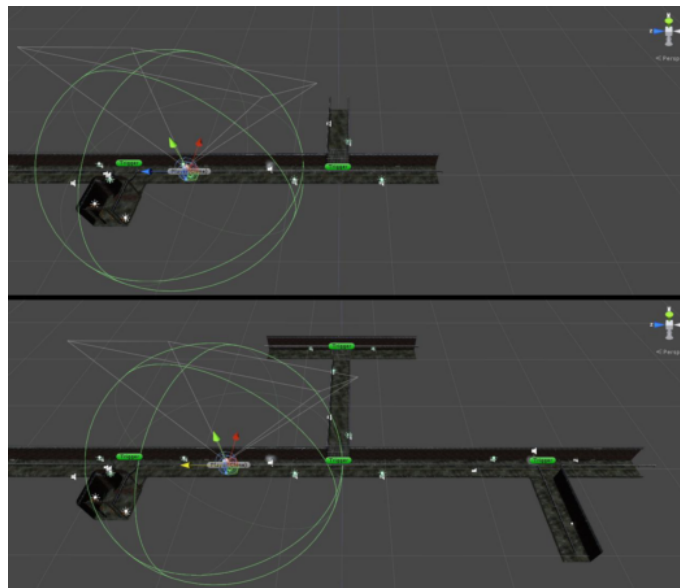


Figura 2.5: Torres (2013) Geração do *layout* no jogo Vanish

Para além da geração do *layout*, a valência do jogador também é utilizada para efeitos visuais, sendo que quando se encontra baixa provoca uma visão em túnel. O nível de excitação é utilizado para a alteração da probabilidade de eventos ambientais, da velocidade do personagem, e do volume do som de batimentos cardíacos.

Como foi anteriormente mencionado, Nacke et al. [NKLM11] desenvolveram um jogo 2D scroller de tiros com uso de diferentes sensores fisiológicos - *gaze*, eletromiograma (EMG), sensor de condutividade da pele (SC), eletrocardiograma (ECG), sensor de respiração (RESP), e sensor de temperatura (TEMP). Estes sensores foram classificados em sensores diretos (RESP, EMG, TEMP, RESP), e sensores indiretos (SC, ECG).

Foram desenvolvidas quatro mecânicas de jogo onde os sinais fisiológicos controlavam: o tamanho de alvo do inimigo, alcance de um lança-chamas, velocidade e capacidade de salto do *avatar* e velocidade do inimigo. Também foi desenvolvida uma mecânica de jogo, ao qual os autores denominaram de *Medusa's Gaze*, que utiliza o sensor *gaze* como forma de temporariamente

congelar os inimigos.

As mecânicas de *biofeedback* discutidas até o momento foram maioritariamente do tipo indireto, no então mais recentemente, muita investigação foi feita nas mecânicas de *biofeedback* direto.

Rego [Reg14] explorou o impacto do *biofeedback* direto no jogo Dark Souls utilizando para esse efeito o eletromiograma (EMG) e o sensor de respiração (RESP) para ativar mecânicas de jogo como: defender (EMG no braço esquerdo), atacar (EMG no braço direito), correr (EMG na perna direita), e curar (RESP). Apesar da simplicidade do estudo feito, os resultados mostram que os jogadores desfrutaram da versão modificada, achando-a mais divertida que a versão original.

As mecânicas de *biofeedback* não necessitam de se limitar ao uso de apenas um sensor, visto ser possível utilizar uma abordagem multimodal¹². Silva (2014)[dS14] desenvolveu um jogo de tiros na primeira pessoa (FPS) denominado "GenericShooter 3000"(Figura 2.6), empregando diversas mecânicas de jogo onde foram exploradas formas de controlo unimodal e multimodal.



Figura 2.6: Silva (2014) Modo de invisibilidade no jogo GenericShooter 3000

Neste estudo foi usado os seguintes sensores: eletromiograma (EMG), sensor de respiração (RESP), sensor de temperatura (TEMP) e *Torsion Glove*¹³ Glove (GLOVE).

Na Tabela 2.1 podemos ver as maneiras de ativação das mecânicas de jogo exploradas.

2.7 Outras *frameworks* para aplicação de *biofeedback* em videojogos

De forma a ajudar o desenvolvimento da nossa *framework* foram analisadas *frameworks* existentes que possibilitam a utilização de diferentes formas de *biofeedback* em videojogos.

¹² De acordo com Silva (2014), *biofeedback* direto multimodal consiste na combinação de dois ou mais sensores fisiológicos diretos, enquanto que *biofeedback* direto unimodal é a utilização de um único sensor

¹³ *Torsion Glove* é uma luva capaz de detectar o grau de curvatura dos dedos, sendo utilizado pelo autor para detectar diferentes poses da mão

Tabela 2.1: Silva (2014) Diferentes maneiras de activação das mecânicas de jogo

Mecânica	Vanilla	Unimodal	Multimodal
Coice da arma	-	EMG-Braço	EMG-Braço + RESP
Invisibilidade	Q	RESP	GLOVE + RESP
Respiração subaquática	-	RESP	
Possessão	V	TEMP	GLOVE + TEMP
Sopro de fogo	B	TEMP	RESP + TEMP
Sprinting	Shift Esquerdo	EMG-Perna	2x EMG-Perna
Usar item	E	GLOVE	EMG-Braço + GLOVE
Agarrar objeto	Tecla esquerda do rato	GLOVE	EMG-Braço + GLOVE

A solução desenvolvida por Nogueira et al. [NRON14], denominada de *Emotion Engine* (E2) apresenta componentes interessantes que podem ser de ajuda no desenho da nossa *framework*. A arquitetura desta solução está presente na Figura 2.7.

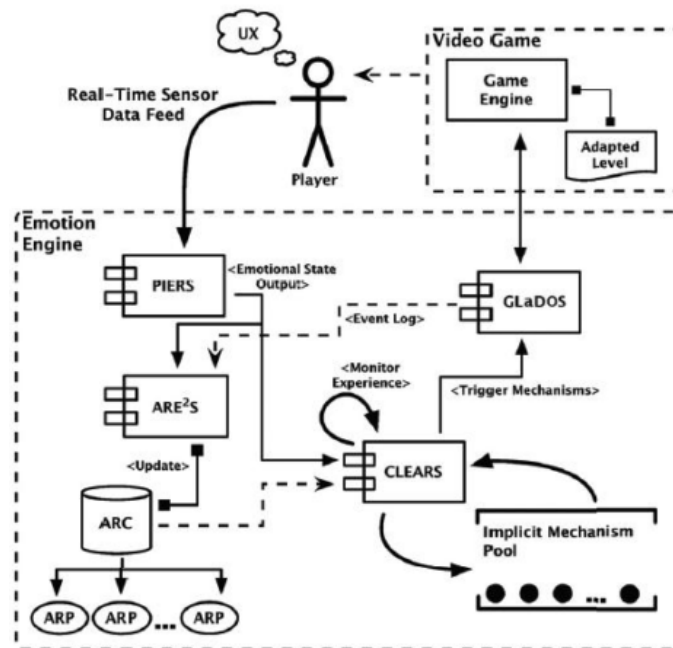


Figura 2.7: Nogueira et al. (2013) Arquitetura do Emotion Engine

A *framework* está dividida em seis componentes: *Physiologically-Inductive Emotion Recognition Sub-system* (PIERS), *Affective Reaction Extraction and Extension Sub-system* (ARE2S), *Affective Reaction Compendium* (ARC), *Closed-Loop Emotional Adjustment and Regulation Sub-system* (CLEARs), *Game Layer alteration Daemon Operating Script* (GLaDOS) e *Implicit Mechanism Pool* (IMP).

O componente PIERS é responsável por classificar o atual estado emocional do utilizador e representá-lo através do espaço de excitação e valência (AV) de Russell (ver Figura 2.1). Esta classificação é feita em duas camadas. Na primeira camada são aplicados diferentes modelos

de regressão polinomial a cada um das *features*¹⁴ de forma a normalizá-las e correlacioná-las às dimensões do modelo de Russell. Na segunda camada os valores de saída da camada anterior foram combinados usando *RSS weighting* para obter os valores finais no espaço AV. A arquitetura do sistema PIERS é apresentado na Figura 2.8. O autor reporta ter atingido valores de *accuracy* de 85% para a excitação e 78% para a valência.

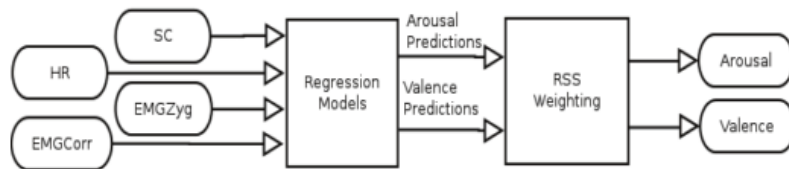


Figura 2.8: Nogueira et al. (2013) Arquitetura do sistema PIERS

O componente ARE2S é responsável por decidir que mecanismos devem ser acionados, tendo em consideração reações passadas do jogador a eventos. Estas decisões são feitas utilizando como entrada o *log* de evento recebido de GLaDOS e o estado emocional recebido de PIERS. As reações dos utilizadores a eventos são por sua vez, guardados no ARC, que representa uma base de dados com o conjunto total de profiles de reação afetiva (ARP).

CLEARs é responsável por monitorizar o estado emocional do jogador e acionar eventos através da interface do GLaDOS. O evento escolhido será o capaz de aproximar o atual estado emocional do jogador ao estado desejado.

GLaDOS é uma interface usado para acionar eventos, cuja implementação é dependente do tipo de comunicação e/ou do motor de jogos usado. Também transmite o *log* do evento para o componente ARE2S.

IMP consiste num ficheiro de configuração com informação relativa aos eventos disponíveis e de como podem serem ser acionados pelo GLaDOS (e.g. teclas ou funções *callbacks*).



Figura 2.9: O videojogo Vanish

¹⁴ condutividade da pele (SC), ritmo cardíaco e tensão muscular do zigomático maior (bochecha) e do corrugador do supercílio (sobrancelha)

Tabela 2.2: Rego (2014) Exemplo de regra de ativação

Variável	Comparação	Valor	Ação
EMG1	>	0.35	Pressionar tecla H
EMG2	<=	0.95	

O Emotion Engine foi integrado no jogo *Vanish*¹⁵, que foi utilizado para o desenvolvimento de algumas mecânicas de jogo que já foram referidas na seção anterior.

Como tema de dissertação, David Rego desenvolveu uma *framework* para a implementação de mecanismos de interação fisiológica em videojogos comerciais usando emulação do rato e teclado como forma de integração[Reg14].

A *framework* divide-se em três componentes ao qual o autor chamou de Configuração, Calibração e Utilização. A arquitetura deste sistema encontra-se na Figura 2.10.

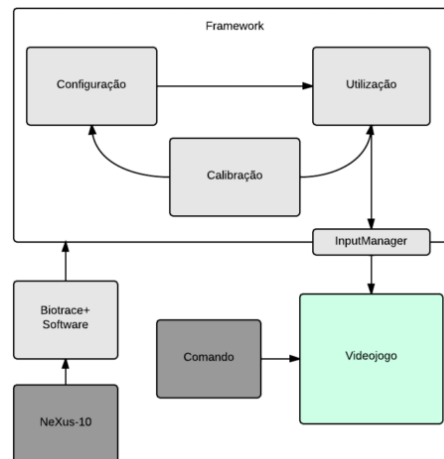


Figura 2.10: Rego (2014) Arquitetura do sistema

A Configuração consiste numa interface gráfica que permite a criação e edição de regras de ativação. Estas regras podem ser gravadas e agrupadas em controladores.

A *framework* utiliza um sistema de regras usando os operadores de comparação (<, <=, =, >=, >). Na Tabela 2.2 podemos observar a definição de uma regra composta por múltiplas restrições.

O componente de Calibração é utilizado pelo utilizador para obter pontos de referência para cada sensor. Através de uma interface gráfica o componente grava os valores mínimos e máximos observados por cada sensor, para serem posteriormente utilizados como forma de normalizar os valores. Através dos valores de calibração os valores recebidos são transformados numa percentagem representando o nível de ativação do sensor.

O componente de Utilização é responsável pela leitura os valores provenientes dos sensores fisiológico, a verificação de regras de ativação e a emulação do teclado e rato.

¹⁵ O jogo está disponível em: <http://www.vanishgame.com/> (acedido Janeiro 30, 2017), onde pode ser descarregado gratuitamente.



Figura 2.11: Rego (2014) *Dark Souls*

O resultado final foi utilizado no jogo *Dark Souls*¹⁶ (Figura 2.11) como forma de complementar o teclado e o rato como forma de interação com o jogo.

Esta solução apresenta algumas vantagens, nomeadamente, o facto de poder ser integrada com um elevado número de videojogos comerciais sem que o utilizador tenha conhecimentos de programação. No entanto os mecanismos de interação que são suportadas e exploradas por esta solução resumem-se à sua utilização como forma de *input*. A *framework* apresenta também tempos de resposta entre a ação do jogador e a ação do *avatar* que podem chegar a 1 segundo, tornando o jogo pouco responsivo.

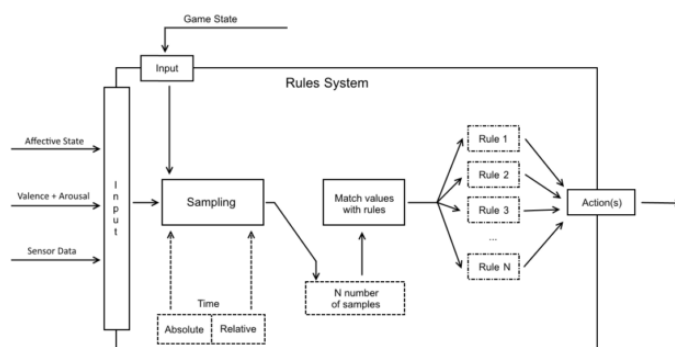


Figura 2.12: Seixas (2016) Arquitetura do sistema de regras

Finalmente será apresentada outra *framework* desenvolvida por Seixas (2016)[Sei16], capaz de capturar os sinais fisiológicos do jogador e usá-los para influenciar o jogo. De modo a suportar funcionalidades de *profiling*, Seixas defende que o sistema de regras necessita de manter um histórico de amostras¹⁷, de número variável e apresentou uma arquitetura possível (Figura 2.12).

A *framework* desenvolvida é constituída por quatro componentes: *Biometric Input*, *Biometric Core*, *Biometric Receiver* e *Biometric Logger*, dos quais apenas *Biometric Input* é externo ao

¹⁶ *Dark Souls* é um jogo RPG (*role playing game*) produzido pela From Software

¹⁷ Uma amostra constitui o estado do sistema num momento, contendo o estado afetivo do jogador, os dados dos sensores, eventos recebidos, entre outros

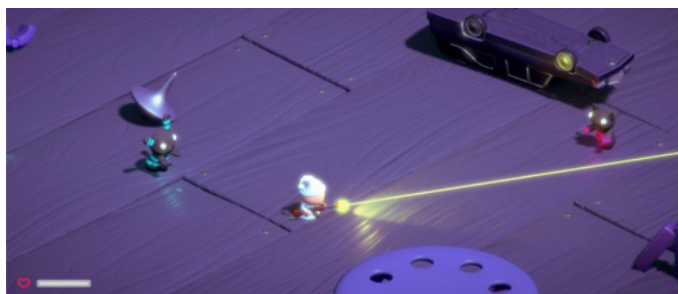


Figura 2.13: Seixas (2016) *Survival Shooter*

Unity¹⁸.

Biometric Input é responsável pela leitura dos sinais fisiológicos capturados pelos sensores e transformá-los em excitação e valência, representando o estado afetivo. Para efeitos de configuração, dispõe de uma interface gráfica para: registo de sensores, criação de um *circumplex model of affect*¹⁹ e simulação do estado afetivo.

Biometric Core é responsável pela abertura de um canal de comunicação OSC²⁰ com *Biometric Input* e receber informações relativas aos sensores e o estado afetivo do jogador.

Biometric Receiver é um *script* contendo a mesma informação que o *Biometric Core* e pode ser estendido por desenvolvedores de jogos sem que para isso modifiquem o *Biometric Core*.

Biometric Logger é um *script* invocado pelo *Biometric Core* que guarda num ficheiro as mensagens enviadas pelo *Biometric Input*.

Também foi desenvolvido um sistema de regras que consiste num ficheiro XML contendo a definição das regras e uma ferramenta de geração de código C#. As regras podem desta maneira ser descritas numa linguagem simplificada e ser traduzidas para uma linguagem compatível com o Unity.

O resultado final foi integrado no jogo *Survival Shooter*²¹ (Figura 2.13), ao qual foram adicionadas novas mecânicas de jogo que permitem a alteração da velocidade de movimento do *avatar*, da força dos inimigos e da estética do ambiente de acordo com o estado afetivo. Embora o autor, por falta de tempo, não tenha desenvolvido a deteção do estado afetivo do jogador, é possível simular o estado utilizando a interface *Biometric Input*. Um problema da *framework* é o facto de ser dependente não só da plataforma Unity, mas também da linguagem C#, uma vez que as regras são traduzidas para essa linguagem.

¹⁸ Unity é um motor de jogo multiplataforma, disponível em: <https://unity3d.com/> (acedido 31 de Janeiro, 2017)

¹⁹ O *circumplex model of affect* é utilizado para mapear os valores de excitação e valência a um estado afetivo

²⁰ Open Sound Control (OSC) é um protocolo para a comunicação entre computadores ou outros dispositivos multi-média

²¹ *Survival Shooter* é um jogo do tipo tiro em terceira pessoa disponível para descarregamento gratuito em: <http://unity3d.com/pt/learn/tutorials/projects/survival-shooter-tutorial> (acedido 31 de Janeiro, 2017)

2.8 Sensores Fisiológicos

Esta secção é feita uma breve descrição dos sensores fisiológicos mais comumente utilizados para recolher informação fisiológica do utilizador, assim como o tipo de indicação nas dimensões de excitação e valência podem ser retiradas a partir destes.

De acordo com as formas em que os sensores foram utilizadas na literatura, também será referido o tipo de *biofeedback* mais apropriado.

Após a descrição dos sensores serão escolhidos os sensores fisiológicos mais adequado para o trabalho que irá ser desenvolvido.

2.8.1 Eletroencefalograma (EEG)



Figura 2.14: Eletroencefalograma (EEG)

Este sensor colocado no couro cabeludo mede a atividade elétrica no cérebro.

Pode ser utilizado como *biofeedback* implícito, sendo um bom indicador do nível de excitação e de valência do utilizador [Amb11].

O EEG pode ser também utilizado como *biofeedback* explícito, com a finalidade de estimular o jogador a controlar as suas ondas cerebrais, quer para questões de relaxamento [HB00], quer para ações no jogo, tais como a habilidade de *shape-shifting* no jogo AlphaWoW [TN10].

No entanto, de acordo com Ambinder et al [Amb11] é propenso a ruído. Como é muito sensível a movimentos oculares e/ou corporais não apresenta ser uma boa fonte de dados.

2.8.2 Eletromiograma (EMG)

O sensor EMG mede a atividade elétrica dos músculos causada pela contração destes. Pode ser usado como forma de *biofeedback* direto [NKLM11], podendo ser colocado em diversos locais do corpo, incluindo os braços e pernas [dS14].

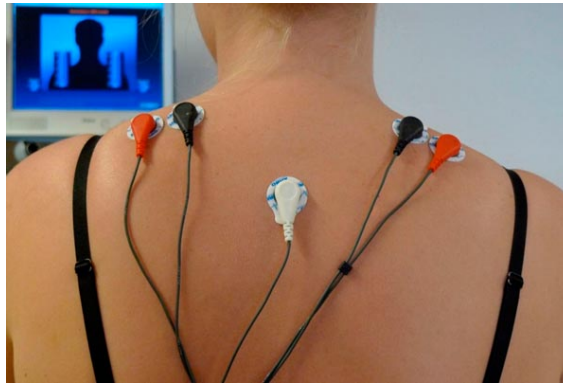


Figura 2.15: Eletromiograma (EMG)²²

Pode, também, ser utilizado como *biofeedback* indireto, sendo aplicado na face. Este, que identifica as expressões faciais (fEMG), [Reg14][NKLM11], consegue extrair a partir das mesmas o nível de excitação e de valência [Amb11].

Segundo Nakasone et al. [NNPI05] a valência de emoções fortes pode ser extraída a partir do EMG.

2.8.3 Eletrocardiograma (ECG)

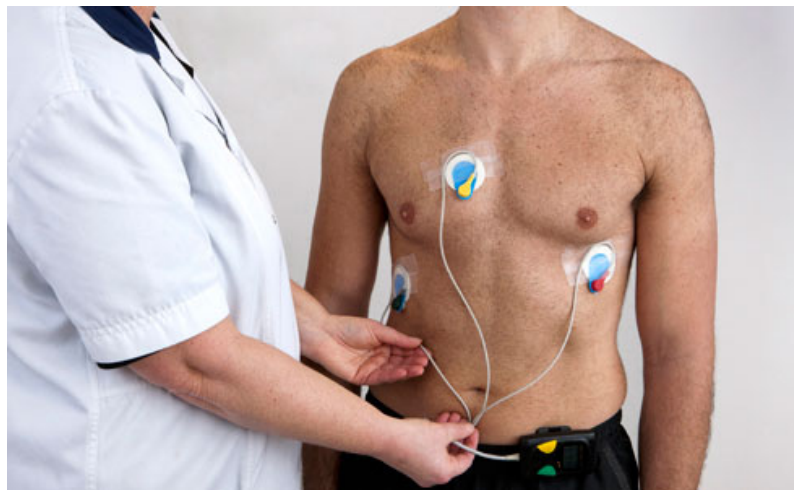


Figura 2.16: Eletrocardiograma (ECG)

O sensor é colocado no lado esquerdo do peito e mede a atividade elétrica do coração. Através dos sinais do ECG é possível analisar o ritmo cardíaco do utilizador.

Este sensor pode ser utilizado como forma de *biofeedback* implícito, sendo um indicador de excitação [Amb11][Reg14].



Figura 2.17: Eletro-oculograma (EOG)

2.8.4 Eletro-oculograma (EOG)

Este sensor é colocado acima e abaixo do olho e é utilizado para detetar movimentos oculares.

Pode ser utilizado como forma de *biofeedback* indireto, sendo um indicador do nível de atenção (deteta se o utilizador desvia o olhar) [Amb11]. Pode ser também utilizado como *biofeedback* direto [Sei16].

O movimento ocular pode ser também detectado por uma câmara que detecta também a dilatação ocular extraindo informação não só da atenção mas também da excitação [Sei16]. Contudo, este método requer análise extensiva [Amb11].

2.8.5 Sensor de Respiração (RSP)



Figura 2.18: Sensor de Respiração (RSP)

Este sensor funciona através de uma banda colocada à volta do peito e tem como objetivo a medição do volume e do ritmo respiratório. Esta é normalmente colocada à volta do peito [HGSW04], podendo ser também colocada à volta do abdómen para medir não só a respiração torácica como também a respiração abdominal [Med].

Visto que a respiração é um ato involuntário, este pode ser utilizado em *biofeedback* implícito para detectar o nível de ansiedade do jogador [HM08] ou utilizado para modular uma mecânica de jogo [KLT⁺10]. No entanto, como a respiração é facilmente controlada pelo jogador pode ser utilizada como *biofeedback* direto [NKLM11] [Reg14].

2.8.6 Sensor de Pressão Sanguínea (BVP)



Figura 2.19: Sensor de Pressão Sanguínea (BVP)

Este sensor mede a pressão sanguínea (BVP) e o ritmo cardíaco (HR) de um utilizador. É normalmente colocado num dos dedos da mão não dominante [Med]. BVP também é referido como um fotopletismograma (PPG), que utilizando um emissor de luz e um sensor de luz, mede a quantidade de sangue através da luz refletida [HGSW04].

No entanto é propenso a artefactos relacionados com o movimento [Amb11][Med][Reg14]. O ritmo cardíaco (HR) é um indicador do nível de excitação, podendo ser por isso utilizado como forma de *biofeedback* implícito.

Pode ser também usado para obter a variabilidade do ritmo cardíaco (HRV) sincronizado com a respiração (aumenta ao inalar e diminui ao exalar) [Med].

Embora este sensor seja mais fácil de utilizar e mais eficiente do que o ECG, é mais propenso a artefactos causados pelo movimento [Med].

2.8.7 Atividade Eletrodermal (EDA)

Este sensor mede a condutividade da pele que aumenta com a produção de suor. É normalmente colocado em dois dedos ou na palma da mão [Med]. EDA é também denominada condutividade da pele (SC) e resposta galvânica da pele (GSR).

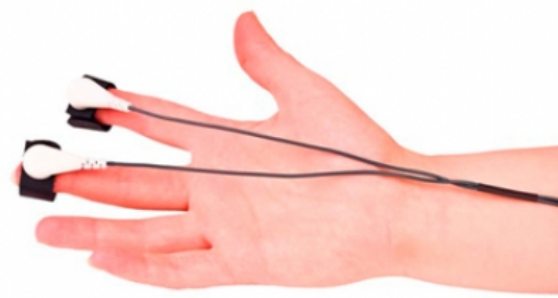


Figura 2.20: Sensor de Atividade Eletrodermal (EDA)

É utilizado como forma de *biofeedback* implícito, sendo um bom preditor de stress com um tempo de resposta a estímulos rápida [Amb11][HGSW04] e, embora não seja um bom indicativo de valência [Amb11], pode ajudar a distinguir o medo da raiva [HGSW04].

Segundo Haag et al. [HGSW04] este sensor é susceptível a fatores externos como a temperatura ambiente (que fazem com que o utilizador sue mais), sendo necessário ter isso em conta no momento da calibração.

2.8.8 Sensor de Temperatura



Figura 2.21: Sensor de Temperatura

Este sensor monitoriza pequenas alterações na temperatura corporal do utilizador, sendo normalmente colocado à volta de um dos dedos [Med].

Pode ser utilizado como forma de *biofeedback* implícito, pois a diminuição da temperatura do jogador está relacionada com o aumento do seu nível de excitação [Amb11]. Segundo Haag et al. [HGSW04] a variação de temperatura é um indicador lento de mudança no estado emocional e, como o sensor EDA, está também dependente de fatores externos.

Este sensor também já foi utilizado *biofeedback* direto onde um mecanismo é accionado soprando ar quente na sonda do sensor [NKLM11] [dS14].

2.9 Resumo e conclusões

Neste capítulo podemos, a partir da revisão bibliográfica, chegar a uma definição de *biofeedback* e *Affective Gaming*, fazendo uma separação entre diferentes tipos de *biofeedback*, como é o caso do *biofeedback* direto e indireto.

Revimos dois modelos de representação do estado afetivo, tendo escolhido o *circumplex model* de Russell para este trabalho devido à sua forte utilização na área. Após o estudo de abordagens de detecção de emoções podemos concluir que é possível utilizar o valores de condutividade da pele (SC), ritmo cardíaco (HR) e eletromiograma facial (fEMG) para inferir o estado emocional do jogador, representando-o no espaço de excitação e valência (AV).

Diferentes mecânicas de jogo foram analisadas para serem posteriormente utilizadas como forma de inspiração, que nos ajudará na construção de mecânicas no nosso caso de estudo.

Este problema já foi abordado anteriormente, tendo sido desenvolvidas diferentes soluções, as quais revimos na seção 2.7. As abordagens que os autores e as vantagens e limitações delas serão tomadas em conta no desenvolvimento desta *framework*. Enquanto que a *framework* desenvolvida por Rego não permite o desenvolvimentos de mecânicas para além da utilização como forma de input, permite a fácil integração com diferentes jogos o que deve ser tido em conta. Já a *framework* que Silva desenvolveu não permite a inferência dos estado emotivo e é demasiado dependente da plataforma Unity.

Fizemos um levantamento dos diferentes sensores utilizados para extrair dados fisiológicos do utilizador, descrevendo-os, e apontando vantagens/desvantagens e o tipo de *biofeedback* em que podem ser aplicados com sucesso a partir do observado na literatura. Decidimos que para a detecção do estado afetivo do jogador, iremos usar a SC, HR e fEMG [Nog13], evitando o EEG devido ao seus problemas com ruído e dificuldade de validação. Para *biofeedback* direto iremos explorar também o uso do sensor RSP, EMG e TEMP.

Revisão Bibliográfica

Capítulo 3

Concepção da *framework*

Neste capítulo iremos focar-nos na conceptualização de uma *framework* capaz de ser utilizada em videojogos comerciais para tirar partido de mecanismos de interação fisiológica.

Este capítulo será dividido em duas seções, na primeira seção irá ser revisto o sistema de *biofeedback* que irá ser utilizado para a captura dos sinais fisiológicos e a plataforma que o suporta - o NeXus-10 e o BioTrace+.

Na segunda seção iremos apresentar a arquitetura da *framework*, os diferentes componentes que constitui e de que forma irá comunicar com o videojogo.

3.1 NeXus-10 e BioTrace+

O NeXus-10 é um sistema de *biofeedback* com 10 canais. Os primeiros quatro operam a uma frequência de 2048Hz e podem ser utilizados para os seguintes efeitos: eletroencefalograma (EEG), eletromiograma (EMG), eletrocardiograma (ECG), eletro-oculograma (EOG) e potencial cortical lento (SPC). Outros quatro canais têm uma frequência de 128Hz e podem ser utilizados para os seguintes efeitos: sensor de respiração (RSP), sensor de pressão sanguínea (BVP), sensor de atividade eletrodermal (EDA/SC) e sensor de temperatura. Os restantes dois canais servem para colocar um oxímetro de pulso (SpO2) e/ou sincronização de pulso ou eventos.

O BioTrace+¹ é a plataforma que recolhe e processa os sinais provenientes do NeXus-10. Com esta aplicação é possível escolher as *features* que são calculadas em tempo real e escritas num ficheiro binário. É possível também visualizar os sinais em tempo real.

O uso das ferramentas descritas tornou possível a aceleração do desenvolvimento da *framework*, reduzindo o tempo necessário para a implementação da extração de *features*, visto que

¹ Para mais informação acerca do NeXus-10 e BioTrace+, consultar: <http://www.mindmedia.info/> (acedido 31 de Janeiro, 2017)

algumas são calculadas pela plataforma BioTrace+. A utilização do sistema NeXus-10, garante-nos também uma qualidade de recolha de dados fisiológicos de alto nível, visto ser um sistema comumente utilizado a nível medicinal.

3.2 Descrição da *framework*

A *framework* desenvolvida tem como finalidade permitir a interação fisiológica entre o jogador e o videojogo comercial. Para tal acontecer, a *framework* necessita de ser capaz de capturar sinais fisiológicos provenientes de múltiplos sensores - possibilitando um maior número de mecanismos de *biofeedback* - e, usando um sistema de regras configurável pelo utilizador, deve utilizar os sinais de forma a alterar o jogo.

A *framework* pode ser dividida em quatro componentes principais: extração de *features*, sistema de regras e configuração. Nesta seção iremos descrever os diferentes componentes e os requisitos associados a cada um, no final iremos apresentar a arquitetura final da *framework*.

3.2.1 Extração de *features*

A extração de *features* é o componente responsável pela recolha e tratamento dos dados fisiológicos do utilizador, capturados por diversos sensores. Para a recolha destes dados foi utilizado o sistema NeXus-10 e a plataforma BioTrace+.

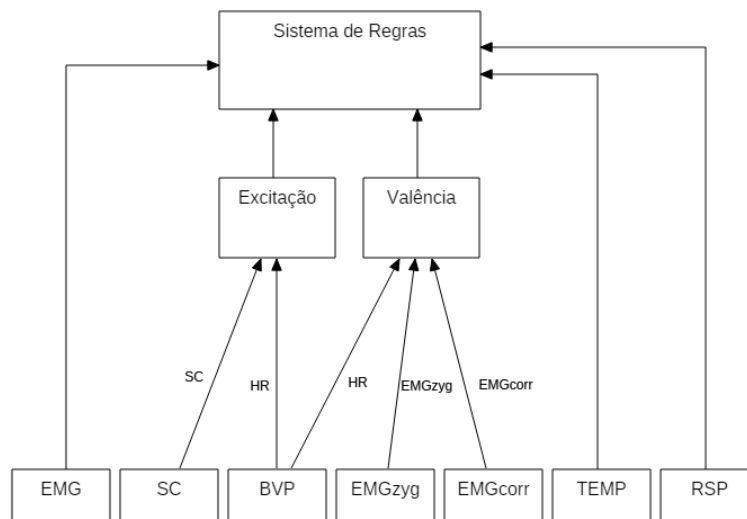


Figura 3.1: Extração de *features*

De modo a utilizar o estado afetivo do jogador no desenho de mecanismos de *biofeedback* é necessário calcular a excitação e valência do jogador a partir dos dados recolhidos. Enquanto que a excitação pode ser obtida a partir da normalização dos valor de condutividade da pele e ritmo

cardíaco, a valência pode ser obtida a partir da normalização do ritmo cardíaco, da tensão muscular do zigomático maior (EMGzyg) e da tensão muscular do corrugador do supercílio (EMGcorr), como podemos ver na Figura 3.1.

Os valores depois de recolhidos e normalizados, são usados como variáveis de entrada no sistema de regras, possibilitando ao utilizador a comparação dos dados fisiológicos com regras de ativação.

3.2.2 Sistema de regras

O sistema de regras é responsável por receber *features* extraídas dos sinais fisiológicos do jogador - como o ritmo cardíaco (HR), a condutividade da pele (SC) e a excitação e valência (representando o estado afetivo do jogador) - e ativar ações no videojogo, seguindo um conjunto de regras, cada uma constituída por uma ou mais restrições.

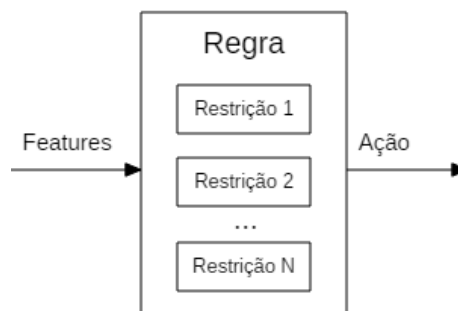


Figura 3.2: Representação de uma regra

Para a ação definida na regra ser executada, todas as suas restrições têm de se verificar. Na Figura 3.2 podemos ver a representação de uma regra, que recebe como entrada um conjunto de *features* e como saída executa uma ação.

Na Figura 3.3 podemos ver um diagrama com a estrutura de um sistema de regras. Este sistema recebe como entrada não só *features* relativas ao jogador, mas também eventos enviados pelo videojogo. Desta forma é possível uma maior complexidade de mecanismos de *biofeedback*, como por exemplo, utilizar as reações de jogadores a certos eventos de jogo para perceber o que emociona, excita ou aborrece o jogador. Para este tipo de mecanismos é necessário manter também um histórico de amostras de estado do jogador (estado afetivo e sinais fisiológicos).

No entanto, para utilizar um sistema de regras deste tipo, seria necessário uma comunicação bidirecional entre a *framework* e o videojogo, o que não é possível para todos os videojogos comerciais, sendo desta maneira uma das limitações desta abordagem relativamente a videojogos comerciais.

O sistema de regras apresentado na Figura 3.4 já é mais simples, não necessitando de uma comunicação bidirecional, mas sim unidirecional. Com esta estrutura é possível utilizar uma integração simples, usando a emulação do teclado e rato, para ativar mecânicas de jogo. Embora seja

Concepção da *framework*

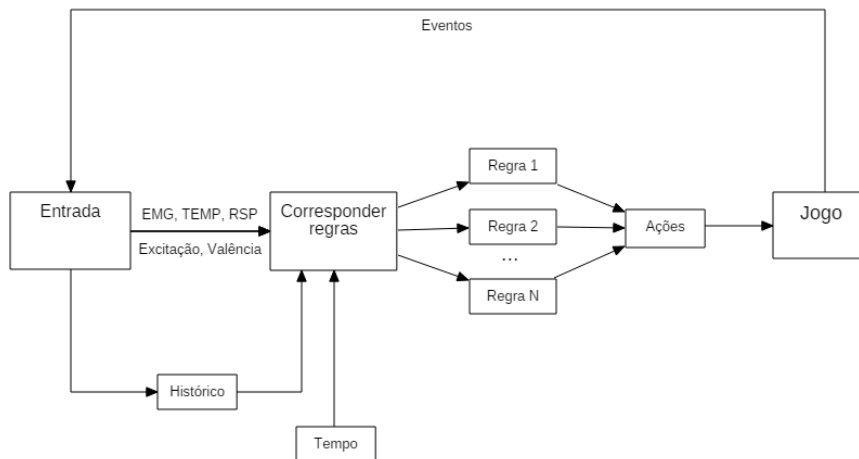


Figura 3.3: Sistema de regras com eventos do videogame

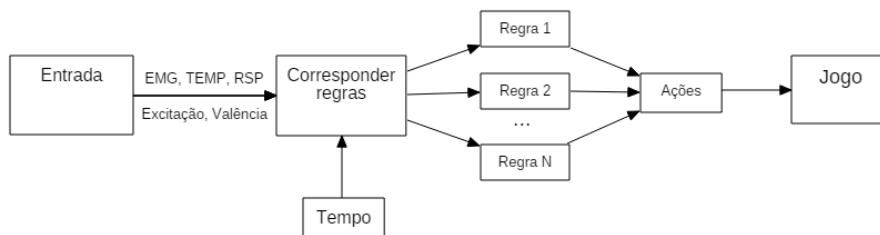


Figura 3.4: Sistema de regras sem eventos do videogame

possível uma integração com qualquer videogame comercial a partir deste método, esta abordagem limita os mecanismos de *biofeedback* que podem ser usados.

No entanto, não é necessário estar limitado a mecânicas de jogo já existentes no videogame original, sendo que existem diversos videogames comerciais que permitem fazer modificações do mesmo (*mods*), permitindo a adição de novas mecânicas.

Uma das mecânicas de jogo referidas na seção 2.6 utilizadas no jogo “Half-Life 2” por Dekker e Champion [DC07] fazia uso do ritmo cardíaco (HR) do jogador para modular a velocidade de movimento e dano do *avatar*. Esta mecânica pode ser implementada num videogame e ativada por uma combinação de teclas emuladas quando o ritmo cardíaco do jogador ultrapassa um limite.

3.2.3 Configuração

De modo a permitir a utilização da *framework* para mais que um videogame comercial, e mais que um conjunto de mecanismos de *biofeedback*, a *framework* deve permitir graficamente a configuração das regras de ativação, permitindo ao utilizador criar um novo conjunto de regras que melhor se adequa ao videogame.

Também deve ser possível ao utilizador escolher quais os sensores a usar e quais dados a extrair dos sensores. Como cada indivíduo é diferente, a interface gráfica de configuração deve permitir a calibração dos dados, embora esta calibração pode ser prolongada pelo resto da sua utilização.

3.2.4 Arquitetura da *framework*

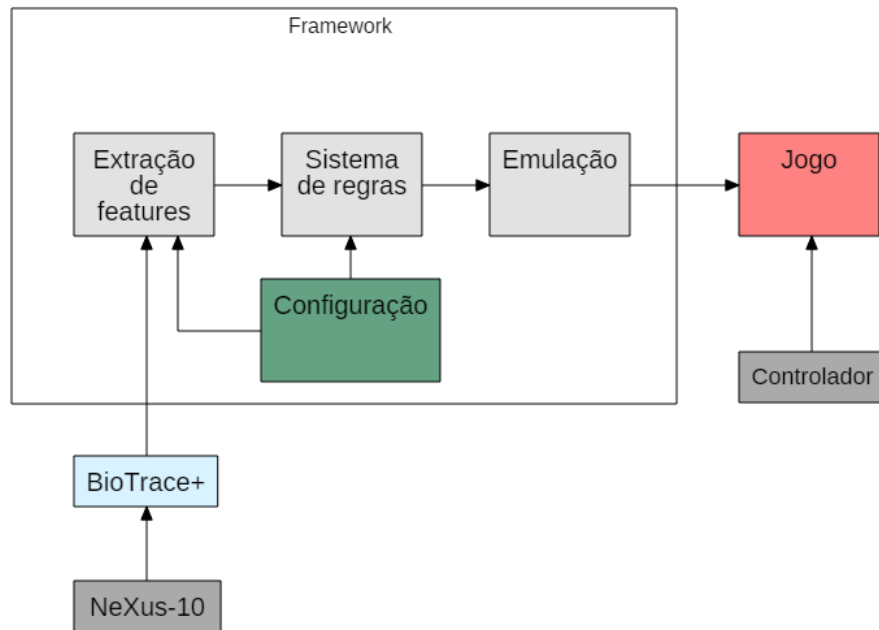


Figura 3.5: Arquitetura da *framework*

Ao identificar os diferentes componentes que formam a *framework* e os requisitos que cada um deles tem, podemos desenhar a arquitetura do sistema (Figura 3.5).

Concepção da *framework*

Capítulo 4

Implementação da *Framework*

Neste capítulo será descrita a implementação da *framework*, assim como as mecânicas de jogo conceptualizadas e a cena do videojogo Skyrim escolhida para o caso de estudo.

4.1 Extração de *features*

O processo de extração de *features* começa pela leitura de um ficheiro binário com dados produzidos pelos sensores, elaborado pelo programa BioTrace+. Esta leitura é feita a uma frequência de 500Hz, permitindo assim um atraso pequeno e um tempo de resposta do jogo entre a contração do braço e o ataque do personagem imperceptível ao jogador.

Tendo início na leitura dos dados que constituem uma amostra, segue-se um conjunto de passos que formam o fluxo de extração de *features*, apresentado na Figura 4.1.

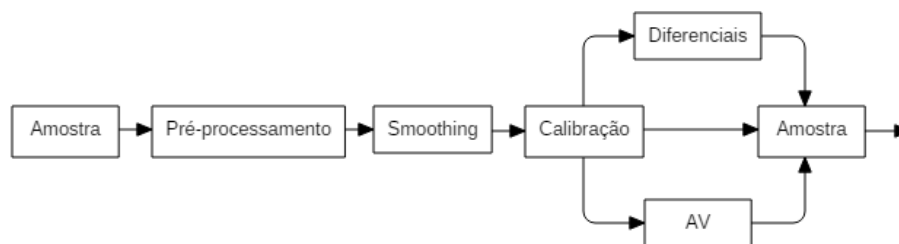


Figura 4.1: Fluxo de Extração de *features*

4.1.1 Pré-processamento

Na fase de pré-processamento foram comparadas amostras consecutivas. Assim, os valores que variam mais que o esperado são descartados. Um exemplo disso é a oscilação dos valores de ritmo cardíaco extraídos do sensor BVP, em que se observou oscilações 40 batimentos por minuto numa fração de segundo.

4.1.2 Smoothing

Devido à quantidade de ruído existente nos sinais recebidos pelos sensores, foi aplicado um filtro para eliminar o mesmo. O filtro escolhido foi o Simple Moving Average, que calcula o novo valor no instante t , através da média dos n resultados anteriores:

$$SMA = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_{t-i} \quad (4.1)$$

Na Figura 4.2 podemos observar o resultado da implementação do SMA com uma janela $n = 80$ no sinal EMG, no momento em que o participante se encontra em repouso.

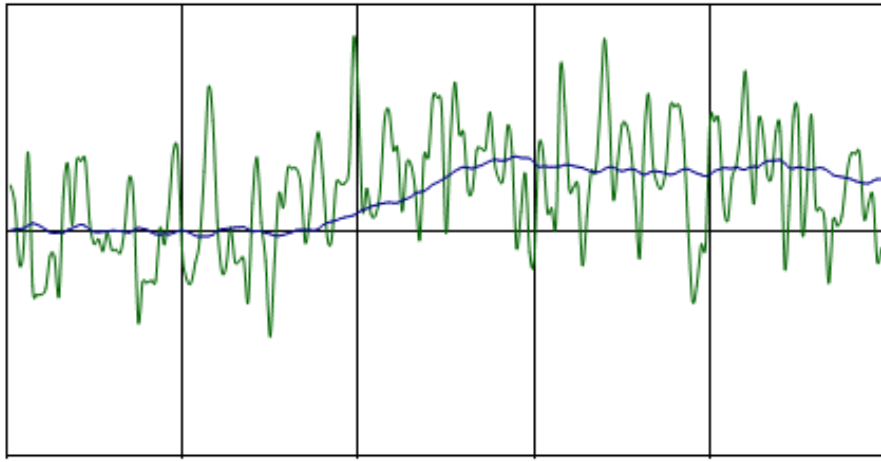


Figura 4.2: Resultado da aplicação de SMA no sinal EMG

4.1.3 Calibração

Para facilitar o uso da *framework* por diferentes utilizadores, os valores da amostra foram normalizados numa escala de 0 a 1, sendo 0 o menor valor observado e 1 o maior. A seguinte equação foi utilizada na normalização:

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4.2)$$

4.1.4 Diferenciais

Dado a utilização de diferentes mecânicas de jogo, foi necessário não só usar o valor absoluto de um sensor no momento t , como também a variação do mesmo. Foi então calculada uma aproximação da primeira derivada de diversas *features* como as EMG (dEMG1, dEMG2, etc.), RESP (dRESP) e TEMP (dT).

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (4.3)$$

4.1.5 AV - Excitação e Valência

Depois dos dados serem normalizados calcula-se os níveis de excitação e de valência do utilizador para determinar o seu estado afetivo. De entre os modelos de representação de emoção descritos no capítulo 2 optou-se pelo modelo proposto por Russell (Secção 2.3.1).

Devido ao elevado tempo necessário à obtenção de dados fisiológicos de múltiplos jogadores para a criação de um modelo de detecção de emoção e a sua posterior avaliação, optou-se por usar um modelo já existente.

O processo de seleção do modelo teve por base os critérios de baixo custo de treino e de complexidade de implementação, pois teria de ser desenvolvido num curto espaço de tempo.

Segundo os critérios delimitados, foram implementados dois modelos diferentes, ambos utilizando o ritmo cardíaco (HR), condutividade da pele (SC), e EMG facial (EMGzyg e EMGcorr).

4.1.5.1 Abordagem baseada em Lógica Difusa

A primeira abordagem explorada baseou-se no modelo de lógica difusa apresentado por Mandryk e Atkins [MA07] e mencionada na Secção 2.4.1. A escolha deste modelo deveu-se ao facto de ser de fácil implementação e de conseguir detetar emoções úteis no contexto dos videojogos. Para implementar este modelo desenvolveu-se a classe FuzzyLogic em C# que utiliza as funções de pertinência para os valores dos sinais e as 22 regras if/else descritas pelos autores para o cálculo dos valores no espaço AV e níveis das diferentes emoções.

4.1.5.2 Abordagem baseada em Regras Gerais

A segunda abordagem, descrita na secção 2.4.2, foi a utilizada na solução final da *framework*. Neste caso, os valores de excitação e valência coincidiam com o estado do jogador em testes feitos durante a fase de desenvolvimento da *framework*. Optou-se por não transportar os valores de excitação e valência para o espaço afetivo (feliz, relaxado, cansado, etc.), já que não seria necessário para as mecânicas de jogo implementadas. Criou-se, por isso, a classe AV em C# que implementa um algoritmo apresentado em [Nog15].

4.1.6 Comparação das abordagens

Para comparar as duas abordagens foi feita uma sessão de música relaxante, seguidos de jogo de terror Slender¹ e um vídeo de comédia com 3 participantes diferentes. Comparando os valores das duas abordagens, notou-se uma boa previsão de excitação vindas de ambos os modelos mas no cálculo de valência, a segunda abordagem mostrava ser mais preciso, embora ambas apresentavam valores de valência mais altos que esperados.

¹Slender: Slender: The Eight Pages é um jogo de survival horror onde o jogador procura 8 páginas numa floresta enquanto evita uma criatura chamada de Slender Man

4.2 Configuração

Como cada videogame necessita de uma configuração diferente, e a simples normalização dos sinais fisiológicos não basta para que a *framework* seja generalizada o suficiente para todos os jogadores, foi desenvolvida uma aplicação gráfica implementada em C# (*WinForms*) com os seguintes requisitos mínimos:

- Criar uma nova configuração para um videogame
- Alterar configurações existentes
- Ajudar visualmente a calibração dos sensores
- Permitir começar/terminar emulação do teclado e rato

Com estes requisitos básicos como objetivo mínimos, foram desenhadas quatro formulários principais: Página Inicial encarregue de mostrar configurações existentes e criar novas; Configuração de Regras encarregue de criar e alterar regras; Calibração que permite mostrar e salvar os valores mínimos, máximos e atuais de cada sensor; Utilização que permite ativar e desativar emulação, assim como mostrar graficamente o estado de cada *feature*.

4.2.1 Página Inicial

Para poder utilizar a *framework* com diferentes videogames e configurações diferentes para múltiplos jogadores, nesta página podem ser criados e alterados configurações. Estas configurações consistem em regras que quando verificadas ativam ações que emulam um botão do teclado ou rato. Estas configurações são gravadas em ficheiro XML (e.g. Anexo A), podendo o utilizador optar por editar a configuração com um editor de texto.

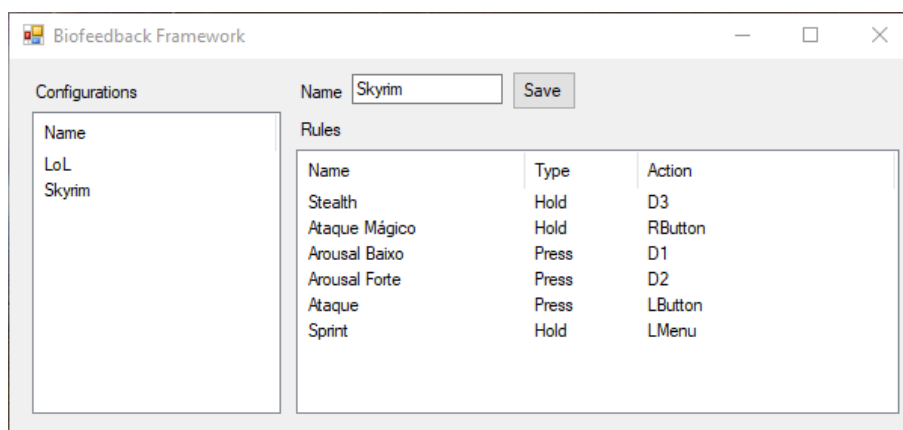


Figura 4.3: Página Inicial da *framework*

A partir da lista à esquerda da página (Figura 4.3) o utilizador acede a um menu onde pode: adicionar uma configuração nova, remover uma existente, ou usar uma configuração (Página de

Utilização 4.6). Ao seleccionar uma configuração, na lista à direita aparecerão as suas regras podendo: adicionar uma regra nova, remover uma existente, ou editar. Uma regra é criada ou editada na página de Configuração de Regras 4.4.

4.2.2 Configuração de Regras

Nesta página o utilizador pode editar os detalhes de uma regra, como o seu nome, as restrições, e a ação associada à mesma.

Uma restrição é constituída por uma *feature* - extraída de um sensor fisiológico - um operador relacional (<, <=, =, >=, >), e o valor (número decimal).

Uma ação é definida pelo seu tipo (o clicar ou segurar de um botão) e uma tecla (ou combinação de teclas) que vai ser emulada.

A emulação é feita através de uma biblioteca C# externa chamada InputManager, que permite também seguir as entradas do jogador, funcionalidade que foi utilizada para obter as teclas que o jogador deseja emular ao clicar no botão que se lê "Read Action" na Figura 4.4.

Feature	Operator	Value
dEMG3	>=	0,05
EMG3	>=	0,2

Figura 4.4: Página de Configuração de Regras da *framework*

4.2.3 Calibração

Para satisfazer um dos requisitos descritos no início do capítulo e poder mostrar os valores mínimos, máximos e atuais de cada sensor, foi criada a página de Calibração apresentada na Figura 4.5.

Devido à elevada quantidade de sensores que foram disponibilizados e que *framework* tem acesso, é possível ao utilizador seleccionar apenas parte deles através de uma lista de *strings* representando o nome deles.

Implementação da *Framework*

É possível alterar manualmente os valores mínimos e máximos de cada sensor, e reiniciar o processo de calibração.

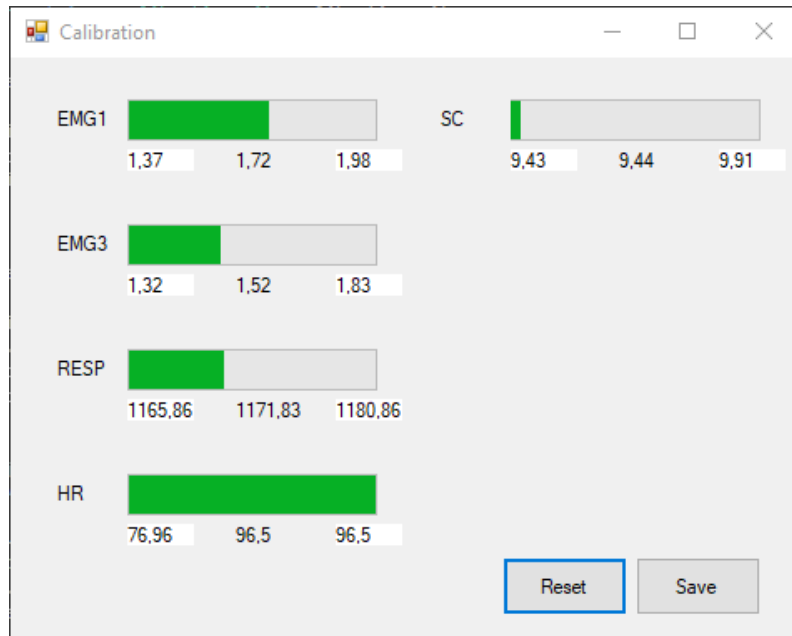


Figura 4.5: Página de Calibração da *framework*

No entanto esta janela não se encontra na versão final da *framework* pois optou-se por incorporar a calibração na janela de Utilização 4.2.4, o que permite a atualização dos mínimos e máximos das *features* durante o jogo.

4.2.4 Utilização

A janela de Utilização começou por servir apenas para começar e terminar o fluxo de dados que começa pela extração de *features*, passando pelo sistema de regras e terminando no sistema de emulação. À medida que foi sendo desenvolvida a *framework*, foram utilizados diferentes métodos de visualização para *debugging*, sendo que um deles (um gráfico de linhas com os valores em tempo-real das *features*) foi integrado na versão final. Esta visualização permite ao utilizador calibrar os sensores mais facilmente em comparação com a Página de Calibração (Figura 4.5).

No lado direito as diferentes regras e restrições da configuração atual são apresentadas, tomando uma cor verde quando uma regra se verifica. Ao selecionar uma regra é possível ver as suas restrições abaixo e configurá-las.

As *features* visualizadas no gráfico podem ser selecionados a partir de um conjunto de caixas de seleção como pode ser visto na Figura 4.6.

Existe um botão para começar e terminar a emulação do teclado e outro botão para reiniciar a calibração.

Implementação da *Framework*

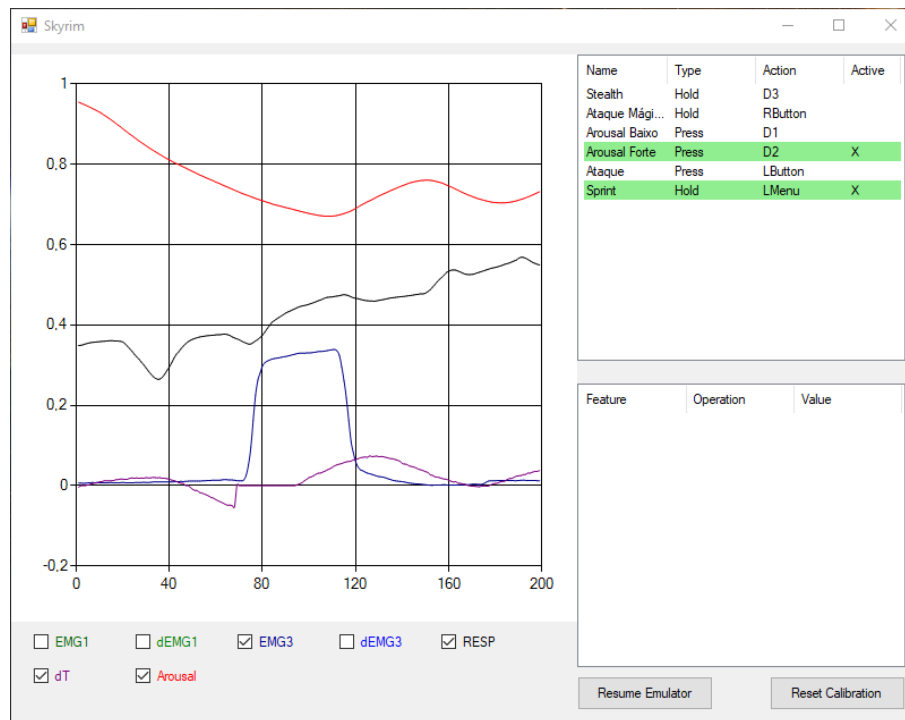


Figura 4.6: Página de Utilização da *framework*

4.2.5 Fluxo de Utilização

Na Figura 4.7 está representado o fluxo de utilização normal da *framework* final, excluindo a página de calibração que foi substituída pela página de Utilização.

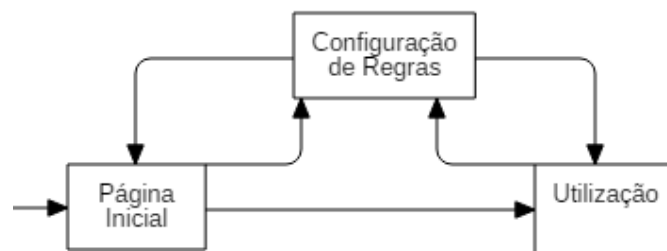


Figura 4.7: Fluxo de utilização da *framework*

4.3 Mecânicas de Jogo

Para explorar a utilização dos sensores fisiológicos no videojogo Skyrim, foram adaptadas cinco mecânicas já existentes no videojogo (Ataque de Espada, Ataque Mágico, Cura, Sprint e Sneak) e foram criadas duas novas mecânicas (Fortificação e Recuperação). As mecânicas de jogo

por sua vez foram mapeadas para botões do controlador podendo estas ser também ativadas pelo jogador através de sensores fisiológicos.

Para poder utilizar as mecânicas de jogo, foram utilizados os seguintes sensores do dispositivo NeXus-10: quatro sensores EMG, um sensor RESP, um sensor TEMP, um sensor SC e um sensor BVP.

Nesta secção irá ser feita uma pequena descrição destas mecânicas, discutida a lógica por detrás da utilização das mesmas e a forma como estas são ativadas através dos sensores fisiológicos.

4.3.1 Ataque de Espada



Figura 4.8: Ataque de Espada acionado pela contração do braço direito

No Skyrim é possível utilizar dois tipos de ataque de espada, um ataque normal (Figura 4.8) quando o jogador carrega momentaneamente no botão R2, e uma ataque forte quando o jogador mantém o botão R2 pressionado.

Para poder utilizar os dois tipos de ataque no modo *Biofeedback* foram exploradas diferentes configurações de sensores EMG. Os ataques podiam ser ativados através de apenas um sensor EMG comum, ou através de dois sensores EMG desde a utilização de apenas um para controlar os dois ataques, como a utilização de um sensor EMG em cada braço.

Primeiro testou-se o uso de um sensor EMG, que ativa o ataque normal quando o nível de contração era baixo e o ataque forte quando é mais alto. No entanto, esta abordagem não é viável pois com a contratação sucessiva do braço para ataques normais sucessivos o nível de contração chegava facilmente aos *thresholds* definidos para o ataque forte, o que impunha a utilização de um *threshold* muito alto só alcançável com a contração máxima, o que seria muito cansativo para o jogador.

Numa segunda tentativa, também com apenas um sensor EMG, a escolha do ataque a ativar derivada do tempo de contração do músculo. A ideia seria emular o pressionamento do botão

enquanto o nível de contração subisse ou mantivesse-se acima de um *threshold*, no entanto este método provocava que todos os ataques fossem fortes, mesmo quando o jogador queria um ataque normal.

Por fim foi testado a utilização de um sensor EMG em cada braço, o que era pouco intuitivo e confuso.

No final decidiu-se utilizar apenas o ataque normal no caso de estudo.

4.3.2 Ataque Mágico e Cura

O ataque mágico e a cura (Figura 4.9 e Figura 4.10 correspondentemente) são dois feitiços do videojogo Skyrim que são ativados com o botão L2, e embora seja possível ativá-los com diferentes sensores, utilizar o mesmo modo de ativação para ambos é a opção mais simples.



Figura 4.9: Ataque Mágico direcionado para um líquido inflamável



Figura 4.10: Feitiço de cura utilizado em conjunto com o ataque de espada

Foram testados diferentes modos de ativação, desde a contração do braço, inspiração funda e sopro de ar quente [NKLM11]. Porque o mecanismo de respirar fundo para ativar uma mecânica fazia mais sentido com o Sneak, e o facto de soprar ar quente condizer visualmente com o ataque de fogo, optou-se pelo uso do sopro de ar quente.

O sopro como mecanismo de interação limita o utilizador no uso da mecânica devido à dificuldade de prolongar o sopro e o cansaço causado pelo uso sucessivo dele. Este sensor deve ser por isso considerado para ações momentâneas que não necessitam de uso prolongado ou utilizado como forma de restringir a utilização da mecânica de jogo.

Como o sensor de temperatura detecta a temperatura da superfície em que toca, este foi colocado junto do microfone de um auscultador, próximo da boca do utilizador. Para detectar quando o jogador está a soprar, foi testado a utilização do valor de temperatura absoluta e uma aproximação de primeira derivada desta ao dividir a diferença de valores consecutivos de temperatura pelo período entre leituras. Na versão final optou-se pelo uso da derivada (dT) embora esta não se apresentasse perfeita.

4.3.3 Sprint

Sendo a ação de correr uma ação feita com as pernas, a opção mais intuitiva e a utilizada na versão final foi usando um sensor EMG na perna e ativá-la ao contrair a perna.

Na Figura 4.11 podemos ver uma das situações da cena utilizada no caso de estudo (Capítulo 5) que permite ao jogador uma oportunidade para utilizar o Sprint para passar por guilhotinas sem sofrer dano.



Figura 4.11: Utilização de Sprint para passar por guilhotinas

4.3.4 Sneak

Nesta mecânica a personagem agacha-se tornando-se mais difícil de detectar, sendo que um olho é apresentado no centro do ecrã que permanece fechado enquanto a personagem se encontra indetectável e se abre quando este é descoberto (Figura 4.12).



Figura 4.12: Utilização do Sneak para passar sem ser detectado, ou atacar provocando mais dano a inimigos adormecidos

Esta mecânica é ativada na condição *Biofeedback* ao inspirar e sustar a respiração. A personagem permanece em modo *sneak* enquanto o jogador sustem a respiração, simulando assim o acto de sustar a respiração de modo a não fazer barulho. Este mecanismo de interação adiciona uma dificuldade acrescida, tornando a mecânica mais difícil de prolongar.

Na Figura 4.12 podemos ver uma das situações da cena utilizada no caso de estudo (Capítulo 5) que permite ao jogador uma oportunidade para utilizar o *sneak*, podendo optar por passar pelos inimigos que estão a repousar sem ser detectado, ou atacá-los causando mais dano.

4.3.5 Fortificação e Recuperação

Para além das mecânicas já existentes no videojogo, foram introduzidas mais duas através da escrita de um *script* de Papyrus².

A Fortificação é uma mecânica que utiliza a excitação do jogador, calculada através do seu ritmo cardíaco e condutividade da pele, permitindo modificar a dificuldade do jogo em tempo-real. Como é visível na Figura 4.13 quando o jogador se encontra ansioso (e.g. Confronto com um boss difícil) a personagem causa mais dano físico e mágico, voltando ao normal quando se acalma. Para tornar este efeito mais perceptível ao jogador, é criada uma aura à sua volta quando o efeito está ativo.



Figura 4.13: Confronto com aranha gigante causa jogador a ficar mais ansioso ativando a Fortificação

Para além da Fortificação, também foi testada outra mecânica que utiliza o estado emotivo do jogador, a Recuperação. A Recuperação utiliza a valência do jogador, calculada a partir de fEMG e o ritmo cardíaco do jogador, para recuperar vida, energia e mana mais rapidamente quando a valência é alta (boas emoções). Durante o desenvolvimento desta mecânica reparamos que por

² Papyrus é uma linguagem de *script* que pode ser decomposta em elementos básicos como Objetos, Funções, Eventos, Variáveis e Propriedades (https://www.creationkit.com/fallout4/index.php?title=Papyrus_Introduction)

a valência ter sempre valores altos, a mecânica estava sempre a ser ativada. Por este motivo a mecânica não se encontra na versão final.

4.4 Configuração final

Após a implementação iterativa das mecânicas de jogo e de um teste piloto com 4 participantes que permitiu a correção de vários problemas, chegamos a uma configuração final que foi utilizada no caso estudo do Capítulo 5.

Na Tabela 4.1 podemos ver as mecânicas de jogo presentes na configuração final utilizada no estudo, e o modo de ativação das mesmas com o controlador (*Vanilla*) e com os sensores (*Biofeedback*).

Tabela 4.1: Mecânicas de jogo

Mecânica	<i>Vanilla</i>	<i>Biofeedback</i>
Ataque de Espada	R2	EMG
Ataque Mágico	L2	TEMP
Cura	L2	TEMP
Sprint	L1	EMG
Sneak	Δ	RESP
Fortificação	-	BVP, SC

Na Tabela 4.2 são apresentadas as regras que constituem esta configuração.

Tabela 4.2: Configuração final do sistema de regras

Regra	Restrições	Tipo
Ataque	EMG3 ≥ 0.2 dEMG3 ≥ 0.05	Press
Mágico	dT ≥ 0.1	Hold
Cura	dT ≥ 0.1	Hold
Sprint	EMG1 ≥ 0.2	Hold
Sneak	RESP ≥ 0.6 dRESP ≥ -5 dRESP ≤ 5	Press
Fortificação desativada	Arousal < 0.7	Press
Fortificação ativada	Arousal ≥ 0.7	Press

O mapa escolhido para o estudo contém elementos que tornam apropriado o uso das diferentes mecânicas de jogo.

Durante a sessão de jogo, o jogador encontra vários esqueletos adormecidos que podem ser derrotados facilmente usando o Sneak para causar mais dano ou passar despercebido. O jogador pode usar o Sprint para percorrer os corredores mais rapidamente e evitar uma série de guilhotinas. O material inflamável encontrado em várias posições no mapa podem ser incendiados com o ataque mágico causando elevado dano aos inimigos. Para além dos diversos monstros que o

jogador deve derrotar com o ataque de espada e o ataque mágico, os dois *bosses* presentes no jogo permitem também ao jogador encontrar situações onde a sua ansiedade aumenta, ativando a Fortificação.

Os *scripts* de Papyrus estão disponíveis no Anexo B.

4.5 Comunicação entre Skyrim e *framework*

Para desenvolver as mecânicas de jogo no videojogo Skyrim foi utilizada a ferramenta CreationKit³ para criar um *mod*⁴. O CreationKit faz uso da linguagem de *script* Papyrus para modificar internamente o jogo, e com a parceria do SKSE (Skyrim Script Extender)⁵ estendem as suas capacidades.

Na Secção 3.2.2 foram apresentados dois sistemas de regras possíveis, um necessita de comunicação bidirecional através de eventos de jogo (Figura 3.3) e outro apenas necessita de comunicação unidirecional (Figura 3.4).

4.5.1 Comunicação bidirecional

Foram investigadas ferramentas disponíveis para o videojogo Skyrim que possibilitassem a comunicação bidirecional, tendo sido encontrados projetos que possibilitam a escrita de *scripts* em linguagens diferentes do Papyrus. Como a *framework* foi desenvolvida em C# explorou-se o projeto PapyrusDotNet⁶ que possibilita a criação de *scripts* em C#. No entanto este é apenas um *wrapper* para a linguagem Papyrus, não suportando a .NET Framework.

Embora não seja possível uma comunicação bidirecional entre o Skyrim e a *framework*, é possível uma comunicação unidirecional com passagem de dados do videojogo para a *framework*. Um *script* de Papyrus pode facilmente escrever para um ficheiro de registo que por sua vez pode ser lido em tempo-real pela *framework*. Esta comunicação é especialmente útil para mecanismos de *biofeedback* indireto sendo que para a construção de um modelo reativo a *framework* teria de saber os estado atual do jogo.

No final optou-se pelo desenvolvido do sistema apresentado na Figura 3.4, sem o uso de eventos de jogo que o sistema da Figura 3.3 requer.

³ CreationKit é um kit de *modding* que contém ferramentas para criar conteúdo para o jogo Skyrim. Fonte: http://www.creationkit.com/index.php?title=Main_Page

⁴ Uma modificação que altera algum aspeto do videojogo (e.g. Diálogos, Armas).

⁵ SKSE é uma ferramenta que disponibiliza mais capacidades ao CreationKit. Fonte: <http://skse.silverlock.org>

⁶ Para mais informações visita a página web <https://github.com/zerratar/PapyrusDotNet>

Implementação da *Framework*

Capítulo 5

Caso de Estudo e Análise de Dados

5.1 Skyrim: Caso de Estudo

Foi conduzido um estudo com duas condições de jogo, uma utilizando sensores fisiológicos e outra apenas o controlador, para conseguir responder às seguintes questões:

- Como se comparam os mecanismos de interação fisiológica em relação aos mecanismos de interação tradicional em termos de experiência de jogo?
- Quais são as limitações dos mecanismos fisiológicos em videogames comerciais?
- Quais são as vantagens dos mecanismos fisiológicos em videogames comerciais?

5.1.1 Protocolo Experimental

Todos os participantes jogaram sob as duas condições numa ordem aleatória de forma a mitigar o *bias* de ordem. O estudo usou dois fluxos diferentes, apresentados na figuras 5.1 e 5.2, dependendo da ordem das condições.

Antes do estudo os participantes responderam a um questionário demográfico que pretendia recolher informações acerca dos níveis de experiência de jogo e a familiaridade do participante com o videogame Skyrim.

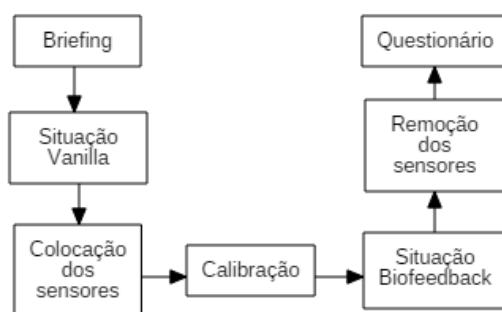


Figura 5.1: Situação Vanilla-Biofeedback

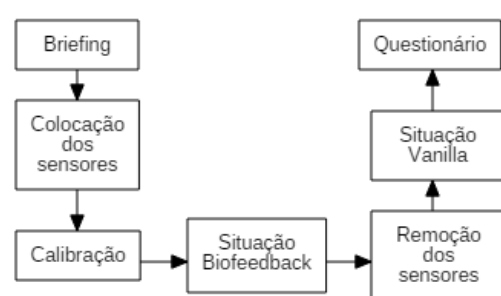


Figura 5.2: Situação Biofeedback-Vanilla

No início de cada experiência foi feito um pequeno *briefing* para demonstrar como o estudo iria decorrer, indicar as funções dos sensores, e explicar como cada mecânica de jogo funcionava e como era ativada, em ambas as condições. Para facilitar a utilização dos sensores foi pedido aos participantes, durante a fase de calibração, que encontrassem uma posição confortável e que permitisse experimentar diferentes formas de ativação dos sensores. Por exemplo, de modo a ativar o sensor da perna os participantes foram aconselhados a escolher entre contrair a perna sem mexer o pé, levantar o calcanhar ou levantar a ponta do pé.

Após o *briefing* iniciou-se a primeira condição de jogo. Os sensores foram colocados e calibrados imediatamente antes da condição *Biofeedback* e foram retirados logo após a mesma. Cada situação consistia na completção de um mapa¹ do jogo Skyrim, em que os jogadores demoraram cerca de 15-20 minutos da primeira vez e 10-15 da segunda a completar.

No final da segunda situação de jogo, foi pedido aos participantes que preenchessem três questionários com perguntas específicas do jogo para avaliar, de forma geral, como foi a sua experiência de jogo.

5.1.2 Ambiente de teste

O ambiente no qual os testes foram implementados e onde foi executado o videojogo e a *framework* tem as seguintes especificações:

- Processador Intel® Core™ i7 3670QM @ 2.30GHz
- 6 GB RAM
- NVIDIA® GeForce® GT 630M with 2GB DDR3 VRAM
- Monitor HP LE1901w 19" - Resolução 1440 x 900
- Windows 10 Pro 64 bits
- Controlador Dual Trigger 3-in-1 Rumble Force

5.1.3 Dados demográficos dos participantes

Vinte e seis participantes (17 homens e 9 mulheres) com idades compreendidas entre os 18 e os 42 anos ($M = 22.92$, $DP = 4.63$) participaram no estudo. A distribuição de idades dos participantes pode ser vista na Figura 5.3.

A Figura 5.4 descreve o número médio de horas por semana que os participantes jogam videojogos.

Os participantes referiram também o nível de experiência com o videojogo Skyrim, numa escala de 1 a 5 (Nenhuma a Muito Experiente) (Figura 5.5). A distribuição de experiência de jogo é bastante uniforme, visto que os diferentes níveis têm aproximadamente o mesmo número de participantes.

¹ O mapa escolhido foi o *Bleak Falls Barrow*

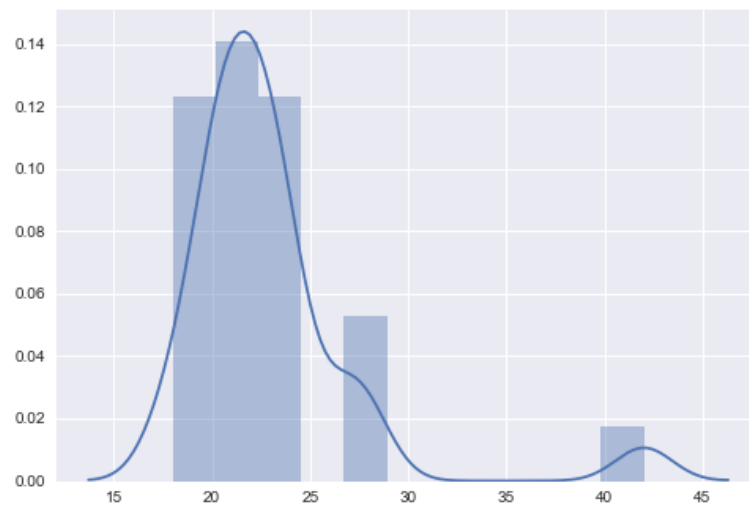


Figura 5.3: Distribuição de idades dos participantes

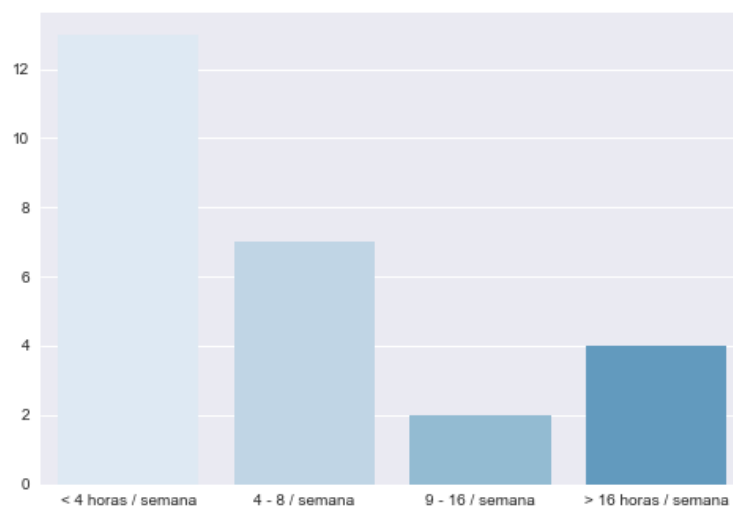


Figura 5.4: Número de horas médio que os participantes jogam videogames por semana

5.2 Análise de Resultados

Foram analisados os resultados relativos a três questionários respondidos pelos participantes do caso de estudo.

No primeiro questionário analisamos o modo como os participantes avaliam a sua experiência de jogo em ambas as condições de jogo - em termos de divertimento e jogabilidade. Foi também

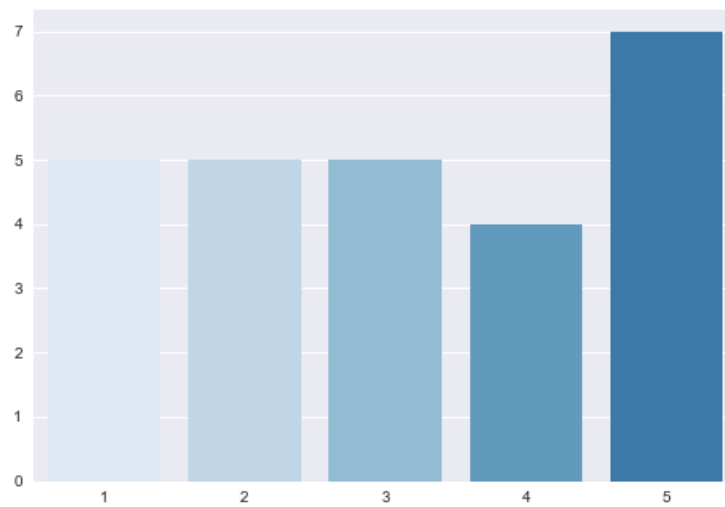


Figura 5.5: Nível de experiência dos participantes com o videogame Skyrim

pedido aos participantes para escolherem a condição de jogo que preferiam.

No segundo questionário, os participantes avaliaram cada mecânica de jogo com base em três factores (Divertimento, Facilidade de Uso e Originalidade), para cada condição de jogo.

O terceiro questionário, *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI), serviu para avaliar a experiência subjetiva dos participantes durante as duas condições em termos de interesse/prazer, competência percebida, esforço/importância, pressão/tensão, valor/utilidade e grau de relacionamento com a personagem.

Foi utilizado um teste t para aferir se as médias das duas condições apresentavam uma diferença estatística, considerando essa diferença estatística quando $p < 0.05$.

5.2.1 Questionário 1: Experiência de Jogo

No primeiro questionário foi pedido aos participantes para avaliarem as diferentes condições em termos de Divertimento numa escala de 1 (Muito aborrecido) e 10 (Muito divertido) e Jogabilidade numa escala de 1 (Não jogável) e 10 (Muito jogável) (Figura 5.6).

Tabela 5.1: Questionário 1 - Média e desvio padrão

	Vanilla	Biofeedback
Fun	$\mu = 7.50$ $\sigma = 1.61$	$\mu = 9.12$ $\sigma = 0.91$
Playability	$\mu = 8.69$ $\sigma = 1.44$	$\mu = 7.77$ $\sigma = 1.21$

Caso de Estudo e Análise de Dados

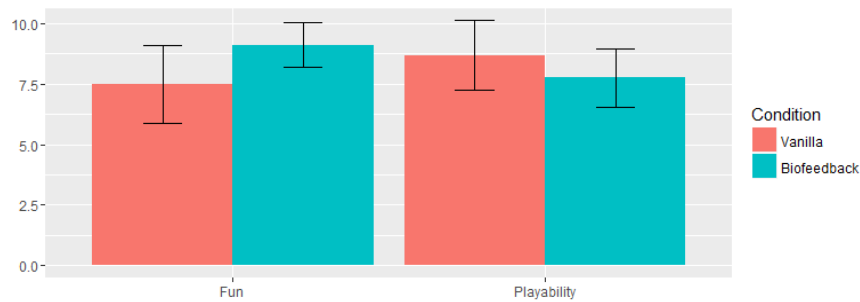


Figura 5.6: Média de divertimento e jogabilidade entre condições e correspondente Erro Padrão

Foi encontrada significância estatística na componente de divertimento ($t = 4.463$, $p < 0.05$), tendo a condição *Biofeedback* apresentado melhores resultados (Figura 5.6).

A condição *Vanilla* apresenta melhores resultados em termos de jogabilidade como pode ser visto na Figura 5.6, tendo esta alcançado significância estatística ($t = 2.506$, $p < 0.05$).

Estes resultados demonstram que os mecanismos de interação fisiológica utilizados no estudo trazem valor à experiência de jogo, tornando o videogame mais divertido, mas estes não estão suficientemente refinados e não apresentam o mesmo nível de facilidade de uso que a interação tradicional. Os mecanismos de interação tradicionais foram concebidos para facilitar o seu uso, tendo uma história longa de evoluções até ao momento.

Tabela 5.2: Questionário 1 - Análise teste t

	t	p
Fun	-4.463	6.56 e-05
Playability	2.506	0.015588

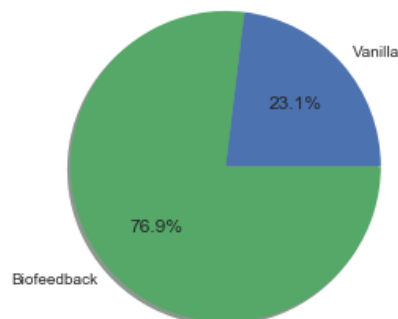


Figura 5.7: Preferência de condição de jogo

Foi também pedido aos participantes para escolherem a condição que preferiram, sendo o resultado visível na Figura 5.7. A partir do gráfico podemos concluir que a condição *Biofeedback* foi bem aceite, tendo menos de 1/4 dos participantes preferido o jogo original.

Como foi descrito por vários participantes, a utilização dos sensores fisiológicos torna o videogame mais emocionante. Em especial, um participante teve o seguinte a dizer sobre a mecânica Sneak:

”É mais emocionante sustar a respiração para permanecer escondido do que carregar num botão apenas.” (P11)

5.2.2 Questionário 2: Mecânicas de Jogo

5.2.2.1 Divertimento

Nesta parte do segundo questionário foi pedido aos participantes para avaliarem as diferentes mecânicas das duas condições em termos de Divertimento numa escala de 1 (Muito aborrecido) e 10 (Muito divertido) (Figura 5.8).

Tabela 5.3: Questionário 2 Divertimento - Média e desvio padrão

	Vanilla	Biofeedback
Sword	$\mu = 6.77$ $\sigma = 2.25$	$\mu = 8.77$ $\sigma = 1.11$
Magic	$\mu = 6.65$ $\sigma = 2.15$	$\mu = 7.23$ $\sigma = 2.21$
Cure	$\mu = 6.88$ $\sigma = 2.03$	$\mu = 7.92$ $\sigma = 2.31$
Sprint	$\mu = 6.50$ $\sigma = 2.16$	$\mu = 8.38$ $\sigma = 2.08$
Sneak	$\mu = 6.58$ $\sigma = 2.44$	$\mu = 8.65$ $\sigma = 1.60$
Arousal	-	$\mu = 7.77$ $\sigma = 1.99$

Para as mecânicas Sword ($t = -4.066$, $p < 0.05$), Sprint ($t = -3.206$, $p < 0.05$) e Sneak ($t = -3.635$, $p < 0.05$) foi encontrada significância estatística entre as condições e tendo a condição *Biofeedback* apresentado melhores resultados (Figura 5.8), podemos concluir que os participantes consideraram estas mecânicas mais divertidas na condição *Biofeedback*. Não foi encontrada significância estatística para as mecânicas Magic ($t = -1.722$, $p > 0.05$) e Cure ($t = -0.952$, $p > 0.05$), embora estas tenham apresentado melhores resultados na condição de *Biofeedback*.

5.2.2.2 Facilidade de Uso

Foi pedido aos participantes para avaliarem as diferentes mecânicas das duas condições em termos de Facilidade de Uso numa escala de 1 (Muito difícil) e 10 (Muito fácil) (Figura 5.9).

Tabela 5.4: Questionário 2 Divertimento - Análise teste t

	t	p
Sword	-4.066	0.000244
Magic	-1.722	0.091432
Cure	-0.952	0.345467
Sprint	-3.206	0.002351
Sneak	-3.635	0.000736

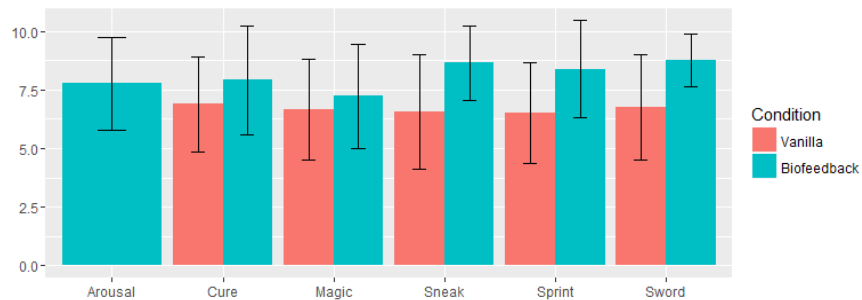


Figura 5.8: Média de divertimento das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão

Tabela 5.5: Questionário 2 Facilidade de Uso - Média e desvio padrão

	Vanilla	Biofeedback
Sword	$\mu = 8.81$ $\sigma = 1.65$	$\mu = 7.88$ $\sigma = 1.90$
Magic	$\mu = 8.85$ $\sigma = 1.57$	$\mu = 6.27$ $\sigma = 2.38$
Cure	$\mu = 8.92$ $\sigma = 1.35$	$\mu = 6.19$ $\sigma = 2.32$
Sprint	$\mu = 8.96$ $\sigma = 1.48$	$\mu = 7.62$ $\sigma = 2.38$
Sneak	$\mu = 8.73$ $\sigma = 1.89$	$\mu = 7.31$ $\sigma = 1.85$
Arousal	-	$\mu = 7.27$ $\sigma = 2.44$

Para as mecânicas Magic ($t = 4.617$, $p < 0.05$), Cure ($t = 5.191$, $p < 0.05$), Sprint ($t = 2.444$, $p < 0.05$) e Sneak ($t = 2.745$, $p < 0.05$) foi encontrada significância estatística entre as condições. A condição *Vanilla* apresentou melhores resultados (Figura 5.9). No entanto, não foi encontrada significância estatística para a mecânica Sword ($t = 1.8682$, $p > 0.05$).

Não só as mecânicas de jogo da condição *Biofeedback* são mais difíceis de utilizar, como também os vários participantes apresentaram dificuldades a utilizar o controlador devido à grande quantidade de botões deste:

”É mais fácil jogar com os sensores, porque no modo *Vanilla* a quantidade de botões faz-me confusão.” (P9)

Houve, devido à intuitividade dos mecanismos de interação, maior facilidade em associar a ação e a mecânica no modo *Biofeedback* que no modo *Vanilla*. No entanto, no modo *Biofeedback* houve uma dificuldade acrescida em acionar as ações quando comparado com o simples pressionar de um botão. Os participantes iriam também beneficiar de um tempo maior de treino com os sensores, sendo que:

”Existe um período de adaptação, acho que seria mais fácil jogar após praticar” (P8)

”Com o tempo e prática torna-se mais fácil ativar o sensor de temperatura e o do braço.”(P20)

As mecânicas que apresentaram piores valores foram o Magic ($\mu = 6.27$, $\sigma = 2.38$) e o Cure ($\mu = 6.19$, $\sigma = 2.32$), devido a problemas na calibração do sensor de temperatura. Como um participante afirmou:

”O sensor de temperatura é demasiado sensível, às vezes ativa quando falo e não ativa quando sopro.”(P15)

Tabela 5.6: Questionário 2 Facilidade de Uso - Análise teste t

	t	p
Sword	1.8682	0.067723
Magic	4.617	3.47 e-05
Cure	5.191	6.31 e-06
Sprint	2.444	0.018803
Sneak	2.745	0.008378

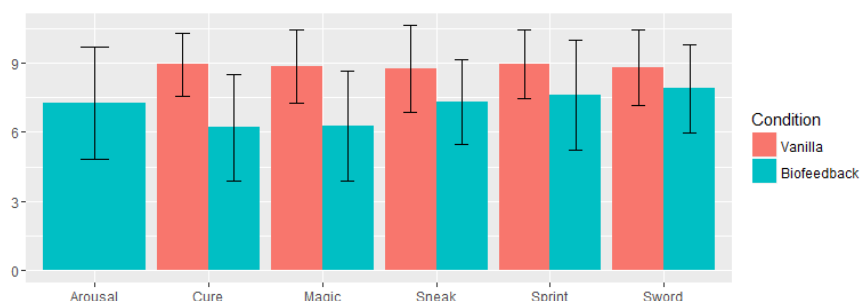


Figura 5.9: Média de facilidade de uso das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão

5.2.2.3 Originalidade

Foi pedido aos participantes para responderem a diferentes questões relativamente à avaliação das diferentes mecânicas das duas condições em termos de Originalidade numa escala de 1 (Sem originalidade) e 10 (Muito original) (Figura 5.10).

Tabela 5.7: Questionário 2 Originalidade - Média e desvio padrão

	Vanilla	Biofeedback
Sword	$\mu = 4.54$ $\sigma = 2.56$	$\mu = 8.58$ $\sigma = 1.27$
Magic	$\mu = 4.85$ $\sigma = 2.44$	$\mu = 8.81$ $\sigma = 1.47$
Cure	$\mu = 4.85$ $\sigma = 2.46$	$\mu = 8.35$ $\sigma = 1.79$
Sprint	$\mu = 4.62$ $\sigma = 2.59$	$\mu = 8.54$ $\sigma = 1.30$
Sneak	$\mu = 4.69$ $\sigma = 2.69$	$\mu = 8.85$ $\sigma = 1.57$
Arousal	-	$\mu = 8.85$ $\sigma = 1.39$

Foi encontrada significância estatística entre as condições em todas as mecânicas de jogo na componente de Originalidade, Sword ($t = -7.194$, $p < 0.05$), Magic ($t = -7.081$, $p < 0.05$), Cure ($t = -5.868$, $p < 0.05$), Sprint ($t = -6.892$, $p < 0.05$) e Sneak ($t = -6.795$, $p < 0.05$). Na condição *Biofeedback*, todas as mecânicas foram consideradas mais originais que a sua contraparte. Esta nova forma de interagir com o videojogo foi considerada original porque nenhum participante teve contacto com *Biofeedback* direto antes deste estudo.

Tabela 5.8: Questionário 2 Originalidade - Análise teste t

	t	p
Sword	-7.194	1.67 e-08
Magic	-7.081	1.27 e-08
Cure	-5.868	4.69 e-07
Sprint	-6.892	4.02 e-08
Sneak	-6.795	3.55 e-08

5.2.3 Questionário 3: IMI

Foi pedido aos participantes para avaliarem as duas condições em termos de interesse/prazer, competência percebida, esforço/importância, pressão/tensão, valor/utilidade e relacionamento com a personagem (Figura 5.11).

Foi encontrada significância estatística nas componentes Interesse/Prazer ($t = -2.612$, $p < 0.05$), Esforço/Importância ($t = -3.034$, $p < 0.05$), Pressão/Tensão ($t = -2.250$, $p < 0.05$), Valor/Utilidade ($t = -2.907$, $p < 0.05$) e Relacionamento ($t = -2.564$, $p < 0.05$). Não foi encontrada significância

Caso de Estudo e Análise de Dados

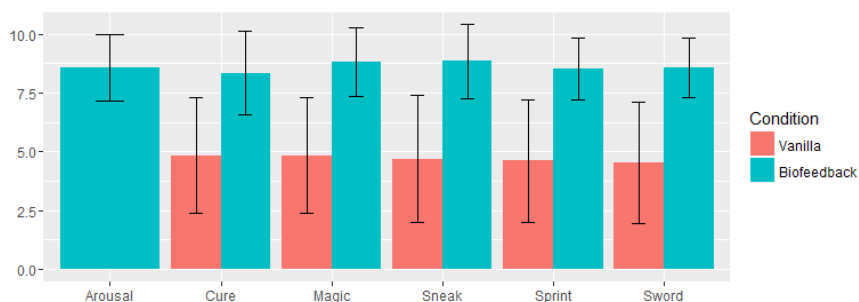


Figura 5.10: Média de originalidade das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão

Tabela 5.9: Questionário 3 - Média e desvio padrão

	Vanilla	Biofeedback
Interesse/Prazer	$\mu = 5.76$ $\sigma = 1.04$	$\mu = 6.35$ $\sigma = 0.51$
Competência Percepcionada	$\mu = 5.00$ $\sigma = 1.42$	$\mu = 4.80$ $\sigma = 1.36$
Esforço/Importância	$\mu = 4.65$ $\sigma = 1.45$	$\mu = 5.68$ $\sigma = 0.94$
Pressão/Tensão	$\mu = 2.49$ $\sigma = 1.33$	$\mu = 3.24$ $\sigma = 1.07$
Valor/Utilidade	$\mu = 4.35$ $\sigma = 1.55$	$\mu = 5.55$ $\sigma = 1.43$
Relacionamento	$\mu = 4.34$ $\sigma = 0.86$	$\mu = 4.96$ $\sigma = 0.90$

estatística na componente Competência Percepcionada ($t = 0.516$, $p > 0.05$) cujos resultados estão em concordância com os resultados da componente de Jogabilidade do questionário 1.

As componentes de Interesse/Prazer, Esforço/Importância e Valor/Utilidade segundo Brown [BC04] estão associados com a imersão do jogador, sendo que o aumento observado na condição *Biofeedback* é um bom indicador que este está a experienciar um jogo mais imersivo.

Como um participante descreveu, os sensores fazem aumentar o esforço e atenção do jogador:

”Os sensores requerem bastante atenção e tornam o jogo mais exigente.”(P4)

A dificuldade na ativação das mecânicas de jogo por vezes trazem valor ao jogador, tornando o videojogo mais divertido:

”O Sneak era extremamente divertido, e sustar a respiração enquanto contraiu outros músculos é exigente.”(P26)

Consideramos que o aumento no relacionamento dos jogadores com o videojogo está associado com o facto de o jogador poder observar o resultado da interação do seu corpo com o videojogo, podendo assim relacionar-se melhor com a personagem.

Caso de Estudo e Análise de Dados

Nós associamos a descida não significativa da competência percebida por parte dos jogadores na condição *Biofeedback* à pouca familiaridade dos participantes com os mecanismos de interação fisiológica.

Alguns participantes também encontraram valor neste tipo de interação, apontando benefícios físicos não encontrados no modo *Vanilla*. O facto de poderem se divertir enquanto exercitam os braços e as pernas trazer um valor aos jogadores que é visível na métrica de Valor/Utilidade.

Tabela 5.10: Questionário 3 - Análise teste t

	t	p
Interesse/Prazer	-2.612	0.013006
Competência Percebida	0.516	0.608040
Esforço/Importância	-3.034	0.004081
Pressão/Tensão	-2.250	0.029096
Valor/Utilidade	-2.907	0.005436
Relacionamento	-2.564	0.013392

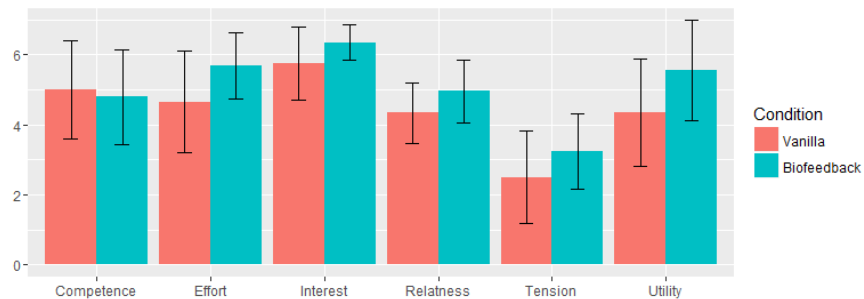


Figura 5.11: Média de divertimento das mecânicas entre condições e correspondente Erro Padrão

Capítulo 6

Discussão

Através da *framework* desenvolvida, introduzimos no videojogo Skyrim elementos de *biofeedback* direto e indireto e conduzimos um caso de estudo de forma a comprovar os efeitos destes mecanismos na experiência de jogo dos participantes. Os resultados obtidos neste estudo permitem tirar conclusões sobre a utilidade do *biofeedback* e dos seus efeitos na imersão dos jogadores.

6.1 Imersão

Brown [BC04] estabeleceu três níveis de imersão: engajamento, absorção e imersão total. Cada nível de envolvimento só é atingível se as suas barreiras forem removidas. As barreiras do engajamento são o acesso (preferência de jogo e controlo) e o investimento (tempo, esforço e atenção). É necessário que o jogador goste do género do videojogo para se sentir envolvido. Isso acontece neste caso de estudo, já que existe familiaridade por parte dos participantes com o Skyrim (Figura 5.6). É necessário também que o jogador se possa tornar mais experiente no controlo do jogo. Isso verifica-se, pois embora os resultados do questionário sobre as mecânicas de jogo (Secção 5.2.2) mostrem que existe dificuldade na utilização dos sensores, segundo os participantes existe uma oportunidade de melhoramento:

”O ataque funciona mais de 70% das vezes, mas sinto que consigo aumentar com treino.”(P9)

”Depois de algum tempo a jogar com os sensores, torna-se mais intuitivo”(P25)

Apesar dos sensores serem mais difíceis de utilizar, e uma vez que não existe diferença significativa na Competência Percecionada, podemos concluir que os participantes se sentem igualmente competentes em ambas situações.

Em termos de Jogabilidade, os resultados também não causam surpresa, uma vez que os participantes possuem anos de experiência na utilização de controlos tradicionais - com *biofeedback* direto jogaram apenas alguns minutos. Problemas na utilização do sensor de temperatura também modificaram negativamente esta métrica.

A eficácia e a eficiência de uma mecânica de jogo são normalmente restringidas pelas capacidades da personagem do videojogo e não do jogador - a força de um ataque depende da espada ou do nível da personagem. No entanto, com o *biofeedback* direto, podem ser utilizadas as capacidades do jogador. Tal como no jogo BrainBall [HB00], onde uma vantagem é atribuída ao jogador que está mais relaxado, existem inúmeros exemplos em como mecânicas de jogo podem ser modeladas através das capacidades do jogador (e.g. Dano de um ataque derivado da força do jogador). No nosso caso de estudo, as mecânicas Sneak e Ataque Mágico dependem da capacidade que os jogadores têm em sustentar a respiração e soprar por o maior tempo possível.

A capacidade do jogador em sustentar a respiração limita assim o tempo em que pode permanecer no modo sneak:

”Normalmente eu jogo Skyrim sempre em modo Sneak, mas como não consigo sustentar a respiração muito tempo tenho de pensar onde posso descansar sem ser encontrado.”

(P11)

Estas limitações fazem com que o jogador altere a sua maneira de jogar, mudança esta que deve ser tida em conta na construção do videojogo, ou na modificação do mesmo para acomodar o novo esquema de controlo. Como no caso de um participante que na condição *Vanilla* utilizava maioritariamente o ataque mágico para derrotar os inimigos e que na condição *Biofeedback*, devido à dificuldade de prolongar o ataque, alterou a sua maneira de lutar, dando preferência ao ataque de espada.

O terceiro nível de imersão, a imersão total, está associada à presença, tendo como barreiras a empatia e a atmosfera. Os resultados do questionário IMI na métrica Relacionamento mostram que existe uma maior empatia entre o jogador e a personagem quando é utilizado *biofeedback*.

No estudo de Brown, [BC04] quase todos os jogos associados à imersão total foram jogos na perspetiva do jogador - e parte deles RPG, tal é o caso do videojogo escolhido para o estudo, Skyrim. Contudo, embora o jogador possa escolher entre uma visão na terceira pessoa e na primeira, o estudo foi realizado na perspetiva do jogador.

Neste estudo o *Biofeedback* foi utilizado em conjunto com o controlador, mas acreditamos que o *Biofeedback* pode ser mais benéfico quando aliado a outras tecnologias, como a realidade virtual (Oculus Rift) ou um sensor de movimento como o Microsoft Kinect. Este desejo foi partilhado por bastantes participantes:

”Gostava que não fosse necessário um controlador por completo e de poder me movimentar de outra forma” (P4)

6.2 Nível de Divertimento

As métricas de Divertimento e de Interesse/Prazer revelaram que os jogadores preferiam o videojogo com *Biofeedback*. Os resultados da métrica de Preferência também o revelaram (neste caso 76.9%). Uma das razões que justifica os resultados na métrica de Divertimento está associada

à teoria de imersão de Brown[BC04], no sentido em que os jogadores atingiram um elevado estado de engajamento devido ao seu investimento de tempo, esforço e atenção.

Dos resultados do questionário IMI (5.2.3) na métrica Esforço/Importância conclui-se que os jogadores investiram mais energia na condição *Biofeedback*. Também os comentários dos jogadores estão em concordância com os resultados do questionário, tendo vários participantes referido o aumento de atenção e esforço que sentiam enquanto jogavam a condição *Biofeedback*:

”Os sensores requerem bastante atenção e tornam o jogo mais exigente.” (P4)

No entanto, nem sempre o aumento de esforço necessário contribui para uma experiência de jogo mais imersiva.

”Existe um sentimento expresso de que o esforço investido num jogo deve igualar as recompensas do sucesso.” [BC04]

Um jogo com *biofeedback*, uma vez que exige um esforço adicional, deve também proporcionar uma recompensa maior que um videojogo comum, tendo o jogador de sentir que o esforço colocado no jogo lhe traz valor, valor esse que é verificado neste estudo pela métrica Valor/Utilidade.

A outra causa que atribuímos à diferença na métrica de divertimento é o facto de este esquema de controlo ser uma novidade. Apenas 3 participantes tiveram uma experiência prévia com *biofeedback* indireto, e nenhum com *biofeedback* direto. Estes participantes admitiram preferirem esta experiência com *Biofeedback* direto às anteriores experiências com *Biofeedback* indireto. Este *bias* introduzido pela novidade dos sensores só pode ser resolvido ao aumentar o tempo do caso de estudo e ao apresentar dois grupos, um de controlo com o tipo *Vanilla* e outro com o *Biofeedback*. Para se avaliar o real impacto de *biofeedback* nos videojogos, um maior número de videojogos com *biofeedback* deverão ser lançados comercialmente (não apenas de *biofeedback* indireto, como por exemplo o Nevermind, mas também de *biofeedback* direto) e observar o *feedback* dos jogadores acerca dos jogos.

6.3 Limitações

Esta investigação foi limitada pela nossa escolha do videojogo. As conclusões sobre o impacto do *Biofeedback* não se aplicam a todos os videojogos, uma vez que existe uma ampla variedade de géneros para além dos RPG (e.g. Tiro, Luta, Corrida). Para verificar se existe potencial no uso do *Biofeedback*, será necessário que se alargue a investigação a outros videojogos e a outras mecânicas.

A necessidade de fazer uma calibração dos sensores manual antes de cada sessão de jogo, para cada jogador, dificulta a sua utilização em estudos e torna esta solução comercialmente inviável.

Embora os resultados do estudo realizado sejam promissores, visto que apresentaram uma diferença significativa a nível de divertimento e imersão, as mecânicas de jogo desenvolvidas

Discussão

ainda não satisfazem ao nível de jogabilidade e de facilidade de uso - especificamente o sensor de temperatura, que apresentou alguns problemas de ativação, sendo necessário a criação de uma *feature* nova.

Finalmente, as capacidades da *framework* foram limitadas pela capacidade de modificação do videojogo Skyrim. Tal como é norma nos videojogos comerciais, não é disponível uma interface direta que permita a comunicação direta entre a *framework* e o jogo, o que limita as mecânicas de jogo que podem ser desenvolvidas. Embora esta tenha sido explorada e tenha sido experimentada a comunicação bidirecional entre o videojogo e a *framework*, esta mostrou não ser possível.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

7.1 Trabalho Futuro

Não só o desenvolvimento da *framework* revelou oportunidades de melhoria, mas também o estudo efetuado mostrou interessantes oportunidades de investigação.

A *framework* desenvolvida apresentou algumas limitações que restringem o uso da mesma no nosso caso de estudo.

A criação de um modelo de deteção afetiva com maior precisão no cálculo da valência do jogador, bem como a deteção de emoções básicas permitiria melhorar a utilização de *biofeedback* indireto.

A criação de uma *feature* diferente da utilizada no estudo para a deteção do sopro do jogador pode diminuir o número de falsos-positivos observados.

O desenvolvimento de uma *framework* com a capacidade de calibração automática de sensores ou a adaptação da já desenvolvida pode resolver o problema de ativação acidental do sensor de temperatura e permitir a utilização desta forma de interação sem que seja necessário uma interface gráfica externa. Sendo a diminuição do custo de sensores uma das motivações desta investigação e de outras no estudo de interação fisiológica, seria útil a integração de diferentes sensores, com custos mais baixos e assim acessíveis ao consumidor comum, como por exemplo os sensores de HR e expressão facial utilizados no jogo Nevermind [Mol] [Rey12].

Uma das causas que atribuímos à diferença da métrica de divertimento entre as condições foi o facto do *Biofeedback* ser uma novidade para os jogadores. Por esse mesmo motivo um estudo mais prolongado poderia remover o *bias* associado ao factor de novidade.

Finalmente, seria interessante que uma investigação deste âmbito fosse expandida a estudos que recorressem a videojogos de géneros diferentes (Corrida, Luta, etc.), possibilitando assim a utilização dos sensores na construção de mecânicas variadas.

Na métrica de jogabilidade podemos observar que a utilização de sensores torna o jogo mais difícil. Seria por isso interessante estudar os efeitos deste modo de controlo em videojogos colaborativos e competitivos em que é dada um maior ênfase ao desempenho (League of Legends, Counter Strike, etc.)

7.2 Conclusões

Desenvolvemos uma *framework* capaz de processar dados provenientes de múltiplos sensores fisiológicos e de ativar mecânicas em múltiplos videojogos através de ações do jogador.

Através desta *framework* podemos introduzir componentes de *biofeedback* direto e indireto no videojogo Skyrim e comparar a experiência subjetiva do jogador em duas condições diferentes - com mecanismos de interação fisiológica e com mecanismos de interação tradicional.

Encontrámos provas em como o *Biofeedback* torna o Skyrim mais divertido mas também mais difícil de jogar, e embora a versão Vanilla tenha provado ser mais fácil de utilizar, vimos que a complexidade acrescida causada pelo uso de sensores na condição *Biofeedback* contribui para a imersão do jogador.

Resultados do questionário IMI mostram que *Biofeedback* aproxima o jogador do videojogo, e aliado com as novas tecnologias de videojogos, como a deteção de movimento (Microsoft Kinect, PlayStation Move) e a realidade virtual (Oculus Rift), podem aumentar a imersividade dos videojogos criando uma atmosfera mais realista e criando empatia entre o jogador e a personagem.

Penso que os objetivos traçados para esta dissertação foram todos cumpridos, sendo que foi não só exploradas mecânicas de *biofeedback* direto, mas também de *biofeedback* indireto, o que torna a *framework* mais flexível em termos do tipo de mecânicas que pode ajudar a criar.

Referências

- [AAP] AAPB. About Biofeedback - Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. URL: <http://www.aapb.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3463>.
- [Agu14] Rúben Pinto Aguiar. Affective game design: Creating better game experiences based on players affective reaction model. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 6 2014.
- [Amb11] Mike Ambinder. Biofeedback in gameplay: How valve measures physiology to enhance gaming experience. In *Game Developers Conference*, 2011.
- [BC04] Emily Brown e Paul Cairns. A grounded investigation of game immersion. In *Extended abstracts of the 2004 conference on Human factors and computing systems - CHI '04*, page 1297, New York, New York, USA, 2004. ACM Press. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=985921.986048>, doi:10.1145/985921.986048.
- [BMA⁺01] Daniel Bersak, Gary Mcdarby, Ned Augenblick, Phil Mcdarby, Daragh McDonnell, Brian McDonald e Rahul Karkun. Intelligent Biofeedback using an Immersive Competitive Environment. *UBICOMP 2001 Workshop on Ubiquitous Gaming*, 2001.
- [Bro74] Barbara B. Brown. *New Mind, New Body: Bio Feedback: New Directions for the Mind*. HarperCollins, 1974.
- [Bry91] M Bryant. Biofeedback in the treatment of a selected dysphagic patient. *Dysphagia*, 6(3):140–144, 1991. doi:10.1007/BF02493516.
- [DC07] A. Dekker e E. Champion. Please biofeed the zombies: Enhancing the gameplay and display of a horror game using biofeedback. In *3rd Digital Games Research Association International Conference: "Situated Play", DiGRA 2007*, 2007.
- [dS14] Gonçalo Filipe Lopes Coelho Amaral da Silva. Multimodal vs. unimodal physiological control in videogames for enhanced realism and depth. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2 2014.
- [FKK⁺10] Dana L Frank, Lamees Khorshid, Jerome F Kiffer, Christine S Moravec e Michael G McKee. Biofeedback in medicine: who, when, why and how? *Mental health in family medicine*, 7(2):85–91, jun 2010. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22477926><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC2939454>.

REFERÊNCIAS

- [GDA05] Kiel Mark Gilleade, Alan Dix e Jen Allanson. Affective videogames and modes of affective gaming: Assist me, challenge me, emote me. In *DiGRA ཁ - Proceedings of the 2005 DiGRA International Conference: Changing Views: Worlds in Play*, 2005. URL: <http://www.digra.org/wp-content/uploads/digital-library/06278.55257.pdf>.
- [HB00] Sara Ilstedt Hjelm e Carolina Browall. Brainball - using brain activity for cool competition. In *1st Nordic Conference on HumanComputer Interaction*, 2000.
- [HGSW04] Andreas Haag, Silke Goronzy, Peter Schaich e Jason Williams. Emotion recognition using bio-sensors: First steps towards an automatic system. In *Affective Dialogue Systems: Tutorial and Research Workshop, ADS 2004, Kloster Irsee, Germany, June 14-16, 2004. Proceedings*, pages 36–48. Springer Berlin Heidelberg, 2004. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-24842-2_4.
- [HM08] Ikuo Homma e Yuri Masaoka. Breathing rhythms and emotions. *Experimental Physiology*, 93(9):1011–1021, sep 2008. URL: <http://doi.wiley.com/10.1113/expphysiol.2008.042424>, doi:10.1113/expphysiol.2008.042424.
- [KLT⁺10] Kai Kuikkaniemi, Toni Laitinen, Marko Turpeinen, Timo Saari, Ilkka Kosunen e Niklas Ravaja. The influence of implicit and explicit biofeedback in first-person shooter games. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI '10*, page 859, New York, New York, USA, 2010. ACM Press. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1753326.1753453>, doi:10.1145/1753326.1753453.
- [LCCS07] Enrique Leon, Graham Clarke, Victor Callaghan e Francisco Sepulveda. A user-independent real-time emotion recognition system for software agents in domestic environments. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(3):337–345, 2007. doi:10.1016/j.engappai.2006.06.001.
- [LCM⁺98] A Leahy, C Clayman, I Mason, G Lloyd e O Epstein. Computerised biofeedback games: a new method for teaching stress management and its use in irritable bowel syndrome. *Journal of the Royal College of Physicians of London*, 32(6):552–6, 1998. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9881312>.
- [MA07] Regan L. Mandryk e M. Stella Atkins. A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies. *International Journal of Human Computer Studies*, 65(4):329–347, 2007. doi:10.1016/j.ijhcs.2006.11.011.
- [MAI06] Regan L. Mandryk, M. Stella Atkins e Kori M. Inkpen. A continuous and objective evaluation of emotional experience with interactive play environments. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems - CHI '06*, page 1027, 2006. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1124772.1124926>, doi:10.1145/1124772.1124926.
- [Med] Mind Media. Biofeedback, Mind-Body Medicine, and the Higher Limits of Human Nature - Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. URL: <http://www.aapb.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3383>.

REFERÊNCIAS

- [MHCF99] P H McKenna, C D Herndon, S Connery e F A Ferrer. Pelvic floor muscle retraining for pediatric voiding dysfunction using interactive computer games. *The Journal of urology*, 162(3 Pt 2):1056–62; discussion 1062–3, sep 1999. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10458431>.
- [Mol] Flying Mollusk. Nevermind – The Greatest Enemy is the One Inside Your Head. URL: <http://nevermindgame.com/>.
- [Mos] Donald Moss. Biofeedback, Mind-Body Medicine, and the Higher Limits of Human Nature - Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. URL: <http://www.aapb.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3383>.
- [NARO14] Pedro A. Nogueira, Rúben Aguiar, Rui Rodrigues e Eugénio Oliveira. Designing players’ emotional reaction models: A generic method towards adaptive affective gaming. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2014. doi:10.1109/CISTI.2014.6877079.
- [NKLM11] Le Nacke, Michael Kalyn, C Lough e RI Mandryk. Biofeedback Game Design: Using Direct and Indirect Physiological Control to Enhance Game Interaction. *Proceedings of the SIGCHI ...*, pages 103–112, 2011. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1978958>, doi:10.1145/1978942.1978958.
- [NNPI05] Arturo Nakasone, Arturo Nakasone, Helmut Prendinger e Mitsuru Ishizuka. Emotion recognition from electromyography and skin conductance. *THE FIFTH INTERNATIONAL WORKSHOP ON BIOSIGNAL INTERPRETATION (BSI-05)*, pages 219–222, 2005. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.104.4937>.
- [Nog13] Pedro A Nogueira. Towards Dynamically Crafted Affective Experiences Through Emotional Response Player Modelling. *Proceedings of the Ninth Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE)*, 2013.
- [Nog15] Pedro Alves Nogueira. *Emotional State Regulation in Interactive Environments: A Psychophysiological Adaptive Approach for Affect Inductive Experiences*. PhD thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 12 2015.
- [NRON13] Pedro A. Nogueira, Rui Rodrigues, Eugénio Oliveira e Lennart E. Nacke. A hybrid approach at emotional state detection: Merging theoretical models of emotion with data-driven statistical classifiers. *Proceedings - 2013 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, IAT 2013*, 2:253–260, 2013. doi:10.1109/WI-IAT.2013.117.
- [NRON14] Pedro A. Nogueira, Rui Rodrigues, Eugénio Oliveira e Lennart E. Nacke. Guided emotional state regulation: Understanding and shaping players’ affective experiences in digital games. In *Proceedings of the Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, AIIDE’13*, pages 51–57. AAAI Press, 2014. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3014712.3014721>.
- [Plu01] Robert Plutchik. The Nature of Emotions. *American Scientist*, 89(4):344, 2001. URL: <http://www.americanscientist.org/issues/feature/2001/4/the-nature-of-emotions>, doi:10.1511/2001.4.344.

REFERÊNCIAS

- [PRP05] JONATHAN POSNER, JAMES A. RUSSELL e BRADLEY S. PETERSON. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(03):715–34, sep 2005. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16262989><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC2367156>http://www.journals.cambridge.org/abstract/_S0954579405050340, doi:10.1017/S0954579405050340.
- [PS10] Erik Peper e Fred Shaffer. Biofeedback History: An Alternative View. *Biofeedback*, 38(4):142–147, "Dezembro"2010. URL: <http://www.aapb-biofeedback.com/doi/abs/10.5298/1081-5937-38.4.03>, doi:10.5298/1081-5937-38.4.03.
- [Reg14] David de Oliveira Rego. Criação de uma framework para o desenvolvimento de mecanismos de interação fisiológica em videojogos comerciais. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 7 2014.
- [Rey12] Erin Elizabeth Reynolds. *Nevermind: creating an entertaining biofeedback-enhanced game experience to train users in stress management*. PhD thesis, University of Southern California, 2012. URL: <http://digitallibrary.usc.edu/cdm/ref/collection/p15799coll13/id/36104>.
- [Rus80] James Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6):1161–1178, 1980. doi:10.1037/h0077714.
- [Sei16] Manuel César Bessa Seixas. A framework for the manipulation of video game elements using the player's biometric data. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 7 2016.
- [TN10] Desney S. Tan e Anton Nijholt. *Brain-computer interfaces : applying our minds to human-computer interaction*, page 277. Springer, 2010.
- [Tor13] Vasco Pereira Torres. Development of Biofeedback Mechanisms in a Procedural Environment Using Biometric Sensors. Master's thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 7 2013.
- [YM08] Carolyn Yucha e Doil Montgomery. *Evidence-Based Practice in Biofeedback and Neurofeedback*. Association for Applied Psychophysiology, 2 edition, 2008. URL: https://www.amazon.com/Evidence-Based-Practice-Biofeedback-Neurofeedback-Carolyn/dp/188711419X/ref=sr{_}1{_}1?s=books{&ie=UTF8{&qid=1485108163{&sr=1-1{&keywords=carolyn+Yucha.

Anexo A

Exemplo de Ficheiro XML de Configuração do Sistema de Regras

O próximo texto representa o conteúdo de um ficheiro XML representante de uma configuração utilizada durante o caso de estudo e expresso numa linguagem criada para a *framework*.

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <Configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="
  http://www.w3.org/2001/XMLSchema" Name="Skyrim">
3   <Rules>
4     <Rule Name="Stealth" Type="Hold" Action="D3">
5       <Constraints>
6         <Constraint Feature="dR" Operation="&gt;=" Value="-5" />
7         <Constraint Feature="dR" Operation="&lt;=" Value="5" />
8         <Constraint Feature="RESP" Operation="&gt;=" Value="0,75" />
9       </Constraints>
10    </Rule>
11    <Rule Name="Ataque M gico" Type="Hold" Action="RButton">
12      <Constraints>
13        <Constraint Feature="dT" Operation="&gt;=" Value="0,1" />
14      </Constraints>
15    </Rule>
16    <Rule Name="Arousal Baixo" Type="Press" Action="D1">
17      <Constraints>
18        <Constraint Feature="Arousal" Operation="&lt;=" Value="0,8" />
19      </Constraints>
20    </Rule>
21    <Rule Name="Arousal Forte" Type="Press" Action="D2">
22      <Constraints>
23        <Constraint Feature="Arousal" Operation="&gt;=" Value="0,8" />
24      </Constraints>
25    </Rule>
26    <Rule Name="Ataque" Type="Press" Action="LButton">
27      <Constraints>
```

Exemplo de Ficheiro XML de Configuração do Sistema de Regras

```
28     <Constraint Feature="dEMG3" Operation="&gt;=" Value="0,05" />
29     <Constraint Feature="EMG3" Operation="&gt;=" Value="0,2" />
30   </Constraints>
31 </Rule>
32 <Rule Name="Sprint" Type="Hold" Action="LMenu">
33   <Constraints>
34     <Constraint Feature="EMG1" Operation="&gt;=" Value="0,3" />
35   </Constraints>
36 </Rule>
37 </Rules>
38 </Configuration>
```

Anexo B

Papyrus Scripts

O ficheiro DetectClickScript.psc contém um script de Papyrus que é associado a uma Quest iniciada no início de cada jogo e que associa as teclas de 1 a 5 a acções.

- Tecla 1: Reduz dano causado pelo jogador
- Tecla 2: Retorna dano causado pelo jogador ao valor normal
- Tecla 3: Aumenta dano causado pelo jogador
- Tecla 4: Restora a vida, energia e magia do jogador
- Tecla 5: Inicia/termina o modo Sneak

```
1 Scriptname DetectClickScript extends Quest
2
3 Spell property invisibleSneakSpell auto
4 Actor property Player auto
5
6 Event OnInit()
7     Player.ForceActorValue("Magicka", 10000)
8     Player.ForceActorValue("Sneak", 100)
9     Player.ForceActorValue("Illusion", 100)
10    Player.AddSpell(invisibleSneakSpell)
11    RegisterForKey(2) ; Press key 1
12    RegisterForKey(3) ; Press key 2
13    RegisterForKey(4) ; Press key 3
14    RegisterForKey(5) ; Press key 4
15    RegisterForKey(6) ; Press key 5
16 endEvent
17
18 Event OnKeyUp(int keyCode, float holdTime)
19     if keyCode == 5
20         Player.ForceActorValue("HealRateMult", 100)
21         Player.ForceActorValue("StaminaRateMult", 100)
```

Papyrus Scripts

```
22     Player.ForceActorValue("MagickaRateMult", 100)
23 elseif keyCode == 6
24     if (Player.IsSneaking())
25         Player.StartSneaking()
26     endif
27 endif
28 EndEvent
29
30 Event OnKeyDown(int keyCode)
31     if keyCode == 2
32         Player.ForceActorValue("AttackDamageMult", 0.5)
33     elseif keyCode == 3
34         Player.ForceActorValue("AttackDamageMult", 1)
35     elseif keyCode == 4
36         Player.ForceActorValue("AttackDamageMult", 2)
37     elseif keyCode == 5
38         Player.ForceActorValue("HealRateMult", 500)
39         Player.ForceActorValue("StaminaRateMult", 1000)
40         Player.ForceActorValue("MagickaRateMult", 1000)
41     elseif keyCode == 6
42         if (!Player.IsInCombat())
43             Player.StartSneaking()
44         endif
45     endif
46 EndEvent
```

O ficheiro PressurePlateScript.esm contém um script de Papyrus que é associado a áreas no mapa dentro do CreationKit e a função OnTriggerEnter é acionada quando uma personagem atravessa uma delas. Desta maneira diferentes mensagens são apresentadas ao jogador em momentos apropriados mas sugerir a utilização de uma mecânica.

```
1 scriptName PressurePlate extends ObjectReference
2
3 Actor property PlayerRef auto
4 Int property Stone auto
5 Int property Activated auto
6
7 Event OnTriggerEnter(objectReference triggerRef )
8     if PlayerRef == triggerRef
9         if Activated == 0
10             if Stone == 1
11                 Debug.MessageBox("Exerça força no braço para atacar com a espada")
12             elseif Stone == 2
13                 Debug.MessageBox("Se exercermos força o ataque terá mais poder")
14             elseif Stone == 3
15                 Debug.MessageBox("Para executar um ataque mágico sobre ar quente")
16             elseif Stone == 4
```

Papyrus Scripts

```
17         Debug.MessageBox("Para passar pelos inimigos sem ser detetado, sustem a
           respiração")
18     elseif Stone == 5
19         Debug.MessageBox("Para recuperar mais rapidamente a vida, energia e magia,
           sorria")
20     endif
21     Activated = Activated + 1
22 endif
23 endif
24 endEvent
```